

# Kollo quium 2014

Forschung & Entwicklung für Zement und Beton

**Kurzfassungen der Beiträge**

Ausgabe 6.11.2014



# Inhalt

## Key-Note

### **Alptransit Gotthard – Herausforderungen für den Beton im längsten Eisenbahntunnel**

DI Peter Wellauer, Holcim (Schweiz) AG

## F&E für Zement und Beton/Infrastruktur

### **Einsatz von Betondecken in Tunnelbauten und bei innerstädtischen Verkehrsflächen – Forschungsstand**

DI Dr. Martin Peyerl, Smartminerals GmbH

### **Instandsetzung von chloridhaltigem unbewehrten Beton**

Mag (FH) DI Dr. Stefan Krispel, Smartminerals GmbH

### **Forschungsprojekt „Absorptionsbeton 2“ zum Schutz von Personen und Bauwerken**

DI Thomas Schönbichler, Cooperative Leichtbeton Werbegemeinschaft GesmbH

DI Christian Rauch, Porr AG

### **Innovative Brücken aus Hochleistungsbeton mit direkt befahrbarer Oberfläche – Praxisbericht**

DI Andreas Hierreich, AXIS Ingenieurleistungen ZT GmbH

DI Norbert Maderböck, AXIS Ingenieurleistungen ZT GmbH

### **Fahrbahnübergangskonstruktion aus Beton – Bau und Versuche an einem Prototyp**

DI Bernhard Eichwalder, TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen

### **Optimierung von Erhaltungsmaßnahmen von Stahlbetonbrücken unter dem Aspekt der Lebenszykluskosten**

DI Sertan Özer, STRABAG AG

DI Dr. Markus Vill, Vill ZT GmbH

## F&E für Zement und Beton/Beständigkeit

### **Anwendungsbereiche der Polarisationsmikroskopie von zementgebundenen Baustoffen**

MSc. Brigitte Pestitschek, TPA Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH

Dr. Farkas Pintér, Bundesdenkmalamt, Naturwissenschaftliches Labor

### **Betonfertigteile-Gleistragplatten für die neue ÖBB-Wagenwaschanlage am Grazer Hauptbahnhof**

DI Dr. Helmut Steiner, ÖBB Infrastruktur AG

DI Alfred Hüngsberg, ÖBB Infrastruktur AG

### **Sichtbeton im High-End Bereich am Beispiel LLC-Zaha Hadid (Bibliothek WU-Wien), Herausforderung für Planung und Ausführung**

DI Anne Wagner, Wien

### **Experimentelle Charakterisierung der Schalhaut-Beton-Interaktion**

Mag. Seraphin Unterberger, Universität Innsbruck, AB Materialtechnologie

### **Entwicklung eines Premix zur Herstellung von UHPC**

Bmstr. DI Philipp Hadl, TU Graz, Institut für Betonbau

## Angewandte F&E für Zement und Beton

### **DONAUWELLE – freigeformte Grillmöbel aus dünnwandigem Beton**

DI Benjamin Kromoser, TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen

### **Vom Studentenwettbewerb zur prototypischen Anwendung – Entwicklung einer frei geformten Schwimmsel aus textilbewehrtem Beton**

DI Franz Forstlechner, TU-Graz, Institut für Tragwerksentwurf

### **Umsetzung von Prototypen: Fachwissen, Kommunikation und Ausführung**

Ing. Alexander Fock, Wibeba, Städtischer Tiefbau, Bauleitung

Ing. Mario Posch, Wibeba, Städtischer Tiefbau, Gruppenleitung

### **Zukunftsvisionen des Prototyps**

DI Lothar Heinrich, Vasko+Partner Ingenieure

## **Eingereichte Beiträge ohne Vortrag**

in alphabetischer Reihenfolge

### **Beitrag von „hochduktilen“ SHCC-Beton zur erdbebensicheren Planung von (Bau-) Strukturen bzw. Ertüchtigung von Bestandsbauwerken- bruchmechanisch bewertet**

Ao.Univ.Prof. i.R. Baurat h.c. DDr. Elmer Bölskey, TU Wien, Institut für Hochbau und Technologie

Univ. Ass. Prof. Ing. Dr. techn. Heinrich Bruckner, TU Wien, Institut für Hochbau und Technologie

Dipl. Ing. Alexander Prantl, TU Wien, Institut für Hochbau und Technologie

### **Entwicklung des Lärmverhaltens von Deckschichten auf den Autobahnen in Österreich**

DI Michael Oberascher, PMS Consult

DI Dr. Alfred Weninger-Vycudil, PMS Consult

### **Lochbleche als Bewehrungselement schlanker Metall-Beton-Verbundplatten unter statischer und dynamischer Belastung**

DI Stephan Pirringer, TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen

### **BKTA – Betonkeller thermisch aktiviert Steigerung der Energieeffizienz und Wohnbehaglichkeit in der Zukunft**

DI Markus Winkler, Department für Bauen und Umwelt, Donau-Universität Krems

# AlpTransit Gotthard Basistunnel

## Herausforderungen für den Beton im längsten Eisenbahntunnel

### ABSTRACT

In der Schweiz realisiert die Alp-Transit Gotthard AG gegenwärtig eine Flachbahn durch die Alpen. Das Kernstück ist der 57km lange Gotthard-Basistunnel, der in fünf Hauptlose unterteilt ist. Die wichtigste Bauaufgabe besteht darin, die beiden parallelen Tunnelröhren von insgesamt rund 120 km auszubrechen, zu sichern und zu verkleiden. Massgebend wird der Betoneinsatz in den Losen Bodio und Faido genauer betrachtet.

### Betonsysteme

Der Bauherr AlpTransit hat zur Sicherstellung aller Anforderungen an den Beton schon 1996 ein umfassendes Präqualifikationsverfahren für Ort- und Spritzbeton gestartet. Die Randbedingungen sahen vor: Alle Zuschlagstoffe sind aus dem Tunnelausbruchmaterial aufbereitet und werden durch den Bauherrn zur Verfügung gestellt, die Rezepturen müssen auch bei hohen Temperaturen am Einsatzort funktionieren, die Betonrezepturen OB2 und SB2 müssen sulfatresistent sein und die Baustoffqualität muss grundsätzlich eine Lebensdauer des Bauwerks von 100 Jahren gewährleisten.

Das mit den beiden Losen beauftragte Consorzio TAT entschied sich für den Systemanbieter Holcim/Sika und übertrug Holcim auch die gesamte Betonproduktion.

### Sohlbeton

Die Anforderungen an den Beton:

- bei der Produktion eine weiche Konsistenz aufweisen, um ohne Schwierigkeiten in die schienengebundenen Nachmischer eingefüllt zu werden.
- eine sehr lange Offenzeit aufweisen, damit er nach dem langen Schienentransport mittels Pumpe sicher in die Schalung eingebracht werden kann.
- nach dem Füllen der Schalung eine rasche Festigkeitsentwicklung aufweisen, damit der Ausschalzeitpunkt mit dem vorgesehenen Bauablauf kompatibel ist.

Beim Start der TBM-Vortriebe 2003 in Bodio, ergaben sich sofort namhafte Probleme mit dem Sohlbeton. Nebst der teilweise noch ungenügenden Erfahrung des Personals und nicht optimal abgestimmten Baustelleneinrichtungen war der Grund eindeutig in der Betontechnologie / Betonproduktion zu suchen.

### Analyse und neue Vorgaben

Der OB1 auf Grundlage einer zugelassenen Mischung mit CEM II/A-L 32.5R (Fluvio) erwies sich für den Praxiseinsatz unter den gegebenen Bedingungen als untauglich. Die Konsistenz war zu unregelmässig (in der Regel zu steif), beziehungsweise die Festigkeitsentwicklung zu langsam, was Verzögerungen beim Ausschalen der Sohle mit Behinderungen im Bauablauf zur Folge hatte. Die Eigenschaften der Zuschlagstoffe zeigten grosse Schwankungen (Wassergehalt des Sandes, Glimmergehalt, Siebkurven), was eine konstante Betonproduktion stark erschwerte.

Die Vorgaben an die Produktion mussten neu definiert werden:

- Ausbreitmass an der Betonanlage
- Temperatur der Mischung
- Offenzeit
- Ausbreitmass an der Einbaustelle
- Ausschalzeit und Ausschalfestigkeit

In Zusammenarbeit mit Holcim und Sika wurden sowohl im Labor als auch auf der Baustelle Mischungen erprobt und die Resultate ausgewertet. Schliesslich wurden Rezepturen definiert, die auch für OB1 neu CEM II/A-D 52.5R (Fortico) sowie weiterentwickelte Fließmittel auf der Grundlage von Polycarboxylaten (Viscocrete AT-306) enthielten.

# Betonieren des Innenrings

## Erfahrungen

In umfassenden Versuchen wurden die Mischungen noch weiter verfeinert und optimiert. Es bestätigte sich, dass nur mit Fortico Zement (CEM II/A-D 52.5R) und mit einer nochmaligen Verbesserung des Zusatzmittels (Viscocrete AT-507) zielführende Lösungen für Betone mit ausreichender Offenzeit und gleichzeitig einer schnellen Frühfestigkeitsentwicklung zu erreichen waren.

Es wurden monatlich Betonmengen zwischen 16'000 und 18'000m<sup>3</sup> produziert und erfolgreich eingebaut..

## Zusammenfassung

In Bodio haben die am Bau Beteiligten bemerkenswerte Leistungen vollbracht: Insgesamt über 60 km TBM-Vortrieb und Tunnelverkleidung wurden erzielt. Die verlangten Festbeton-Eigenschaften wurden stets problemlos erreicht und übertroffen. Die Forderungen des Bauherrn nach einem qualitativ einwandfreien und dauerhaften Bauwerk wurden vollumfänglich erfüllt. Nebst der Betontechnologie stellten möglichst konstante Produktionsparameter und eine einwandfrei funktionierende Logistik den Schlüssel zum Erfolg dar.

Die Anwendung des Betonsystems, die Änderung von Betonrezepturen und die Eigenschaften der vom Bauherrn gelieferten Gesteinskörnungen haben zu einigen werkvertraglichen Diskussionen mit dem Bauherrn geführt. Ohne den entscheidenden Input der internen Betonexperten und einer pragmatischen, zielorientierten Zusammenarbeit aller Beteiligten bei der Verbesserung der Betonrezepturen wären die erbrachten Leistungen nicht möglich gewesen.

Zürich, 24. Oktober 2014

### Autor / Author

#### Peter Wellauer

Dipl. Bauing ETH/SIA  
Holcim (Schweiz) AG  
Hagenholzstrasse 83  
CH-6050 PZürich  
[peter.wellauer@holcim.com](mailto:peter.wellauer@holcim.com)

### Referenzen / References

- [1] **B. Gugelmann**; Optimierung der Betonproduktion auf der AlpTransit-Baustelle Bodio, SIA für fib-CH, 2006.
- [2] **P. Teuscher, P. Zbinden**; Die AlpTransit-Projekte am Lötschberg und am Gotthard, Betonbau in der Schweiz, SIA für fib-CH, 2002.
- [3] **O. Böckli**; Bodio - Erfahrungen nach der Vortriebshälfte, Swiss Tunnel Congress 2005, Fachtagung für Untertagbau, Luzern.
- [4] **H.C. Schmid**; Betonsysteme: Überblick / Umsetzung / spezielle Probleme, AlpTransit-Tagung 2002, Fachtagung für Untertagbau, Thun.
- [5] **M. Keller**; Betonproduktion mit strengen Vorgaben, AlpTransit-Tagung 2003, Fachtagung für Untertagbau, Locarno.
- [6] **A. Leemann, C. Thalmann, M. Kruse**; Gebrochene Zuschlagstoffe, Ergänzende Prüfungen zu den bestehenden Beton-Normen - Erfahrungen bei Alp-Transit Gotthard, Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 24, 1999.
- [7] **A. Leemann, W. Studer**; Die Auswirkungen von freien Schichtsilikaten im Zuschlag auf die Eigenschaften von Mörtel und Beton, EMPA Untersuchungsbericht Nr 166'184 1998

# Einsatz von Betondecken in Tunnelbauten und bei innerstädtischen Verkehrsflächen – Forschungsstand

**DI Dr. Martin Peyerl**

Mag.(FH) DI Dr. Stefan Krispel

Die entsprechende Wahl von Straßenbaustoffen hinsichtlich ihrer Oberflächenhelligkeit beeinflusst sowohl die Energiekosten für die Beleuchtung als auch das Klima in direktem Umfeld. Ziel von zwei Forschungsprojekten ist, wie sich die vorhandenen Unterschiede von Oberflächenhelligkeiten – unter gleichbleibenden Rahmenbedingungen – einerseits auf die Beleuchtungskosten in Tunnelbauwerken und andererseits auf das Stadtklima aufgrund sommerlicher Aufheizungen auswirken.

Im Forschungsvorhaben „Einfluss der Oberflächenhelligkeit auf die Betriebskosten in Tunnelbauwerken“ werden Untersuchungen an einem bestehenden Versuchstunnel durchgeführt. Dadurch können die die Oberflächenhelligkeit unterschiedlich beeinflussenden Parameter, wie z.B. Tunnelgeometrie und Beleuchtungsanordnung ausgeschlossen werden. Neben der Darstellung des Einsparungspotentials an Beleuchtungskosten aufgrund der Wahl der entsprechenden Oberflächen soll auch die Frage des Einflusses von zunehmend verschmutzten Oberflächen auf die Energiekosten beurteilt werden. Im Rahmen des Projekts wird geklärt, inwieweit sich im Besonderen auch die Helligkeitseigenschaften der Fahrbahn bzw. Tunneloberflächen auf Beleuchtungskosten, Reinigungsintervall oder subjektives Sicherheitsempfinden der Verkehrsteilnehmer auswirken. Diese Thematik ist von besonderem Interesse, da etwa 19 Prozent des weltweiten Gesamtenergieaufwandes für Beleuchtung aufgewendet werden. Von diesem Anteil entfallen nur 20 Prozent auf private Haushalte, der Rest ist der öffentlichen Beleuchtung und eben auch der Straßenbeleuchtung zuzuordnen. Dadurch verursacht die Beleuchtung von Verkehrsanlagen bzw. Tunnelbauwerken einen nicht zu vernachlässigenden Energieverbrauch. Bei zweiröhrigen Tunnelbauwerken im hochrangigen Straßennetz beträgt der Energieverbrauch für einen Tunnelkilometer etwa 180 000 kWh pro Jahr. Dadurch entsteht allein für das Autobahn- und Schnellstraßennetz ein Gesamtenergiebedarf für die Beleuchtung von 62 Mio. kWh pro Jahr. Darüber hinaus tragen helle Oberflächen insbesondere in Tunnels, wo die Sehleistung des Verkehrsteilnehmers besonders gefordert wird, einen bedeutenden Teil zur Senkung des Unfallrisikos bei.

Das Forschungsprojekt „Optimierter Verkehrsflächenbeton für den innerstädtischen Bereich“ beschäftigt sich mit den steigenden Anforderungen an Verkehrsflächen im urbanen Bereich. Neben einer Zunahme des Schwerverkehrs, einer vielseitigen Nutzung und beengten Platzverhältnissen spielen auch die Helligkeitseigenschaften dieser Flächen eine entscheidende Rolle. Dabei ist ein bisher wenig beachtetes Phänomen die Ausprägung von urbanen Wärmeinseln, den sogenannten „Heat Islands“. Da Straßen etwa einen Anteil von 10 Prozent der Gesamtfläche einer Stadt in Anspruch nehmen, können hier effiziente, langfristige Maßnahmen gesetzt werden. Ein Ziel des Projektes ist es, dass schon bei der Planung Baustoffe mit geeigneten Oberflächenhelligkeiten, wie Beton ausgewählt werden. Da ein kompletter Tausch des gesamten Fahrbahnaufbaues in vielen Fällen nicht sinnvoll ist, sollen darüber hinaus auch Untersuchungen für die Ausführung der „White Topping“ Bauweise (Einbringen einer dünnen Betonschichte auf die bestehende Asphaltkonstruktion) durchgeführt werden. Der Einsatz dieser Baumethode ermöglicht neben einem höheren Reflexionsvermögen auch die Erhöhung der Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit der Straßenkonstruktion.

# Instandsetzung von chloridhaltigem unbewehrtem Beton

**Mag.(FH) DI Dr. Stefan Krispel**

DI Dr. Martin Peyerl

DI Christian Dillig

DI Stefan Marchtrenker

Im Forschungsvorhaben Instandsetzung von chloridhaltigem unbewehrtem Beton wurde untersucht, wie sich vorhandene oder zusätzlich eindringende Chloride auf die Dauerhaftigkeit bzw. Schadenserscheinungen von Tunnelanstrichsystemen auswirken. Zur Abklärung dieser Sachverhalte erfolgte sowohl die versuchstechnische Simulation des Einflusses von Chlorid auf unterschiedliche Tunnelanstrichsysteme im Rahmen von Laboruntersuchungen als auch die Zustandserhebung und Analyse an insgesamt drei sich in Betrieb befindlichen Tunnelbauwerken.

Im ersten Projektteil erfolgte die versuchstechnische Simulation an vier unterschiedlichen Tunnelbeschichtungssystemen (konventionelle Tunnelbeschichtung, konventionelle Tunnelbeschichtung inkl. Grundierung, Spritzbeton und Saniermörtel) im Labor der Smart Minerals GmbH bzw. zuvor VÖZFI. Zur Abbildung einer zum Auftragszeitpunkt des Tunnelanstrichsystems jeweils vorhandenen Vorbelastung des Untergrundes durch Chlorid erfolgte die Herstellung der Betonprobekörper mit Tunnelinnenschalenrezeptur als jeweilige Träger für das Tunnelanstrichsystem mit im Frischbeton dotierten Chloridgehalten von 2, 4, 7 und 10 Prozent der Zementmasse. Die hergestellten Probekörper wurden mit zwischenzeitlichen Prüfterminen bis zu einem Alter von 3 Jahren sowohl liegend als auch stehend im Wasser und stehend in Salzlösung gelagert. Ziel dieser drei unterschiedlichen Lagerungsarten war, einen während des Betriebs vorhandenen zusätzlichen Eintrag von Feuchte bzw. auch Tausalzlösung labortechnisch simulieren zu können. Zur jährlichen Überprüfung der Veränderungen der Eigenschaften der Tunnelanstrichsysteme dienten als Bewertungsparameter die Haftzugfestigkeit, die Kerb-Spaltzugfestigkeit sowie die Veränderung des Chloridgehaltes direkt unter dem Tunnelanstrichsystem.

Im Rahmen der Versuche konnte gezeigt werden, dass sowohl Haftzug- als auch Kerb-Spaltzugfestigkeiten mit zunehmendem dotiertem Chloridgehalt bei steigender Lagerungsdauer abnahmen. Es besteht somit ein direkter Zusammenhang zwischen im Untergrund vorhandenem Chloridgehalt und der Schädigungswahrscheinlichkeit zu einem späteren Zeitpunkt. Weiters wurde festgestellt, dass aufgrund kapillarer Transportvorgänge der Chloridgehalt direkt unter dem Tunnelanstrichsystem zunimmt. Diese Zunahme ist umso größer je höher der Chloridgehalt (im gegenständlichen Fall der dotierte Chloridgehalt) des Untergrundes (Tunnelinnenschale) ist. Die Probekörper wurden generell bis zu einem Alter von 3 Jahren gelagert. Würde der im Rahmen der Laborversuche festgestellte Abfall bis zu einem Alter von 7 Jahren extrapoliert werden, wären Haftzugfestigkeitsabfälle über 50 Prozent bezogen auf den Ausgangswert möglich.

Der zweite Projektteil befasste sich mit der Analyse von drei sich unter Verkehr befindlichen Tunnelbauwerken im Bundes- bzw. Landesstraßennetz. Zur Beurteilung wurden in jedem der drei untersuchten Tunnelbauwerke drei optisch einwandfreie Stellen (gute Stellen) und drei Stellen mit beginnender bzw. fortschreitender optischer Schädigung (schlechte Stellen) ausgewählt. Im Rahmen der Untersuchungen wurden für jede der Stellen Haftzugfestigkeiten bzw. axiale Zugfestigkeiten sowie der bruchmechanische Kennwert der Kerb-Spaltzugfestigkeit ermittelt. Diese Prüfwerte wurden mit den jeweils im Untergrund vorhandenen Chloridgehalten korreliert. Grundsätzlich konnten tendenziell an guten Stellen höhere Haftzug- bzw. Kerbspaltzugfestigkeiten als an schlechten Stellen festgestellt werden. Eindeutige Zusammenhänge sind aufgrund der herstellungsbedingten Einflussparameter (z.B. Rautiefe, Feuchtigkeit) der Tunnelanstrichsysteme nicht möglich. Die Ermittlung der Chloridgehalte zeigte, dass grundsätzlich die höchsten Chloridgehalte direkt unter den Tunnelanstrichsystemen bzw. in einer Tiefe von etwa 1 cm festgestellt wurden. Mit zunehmender Tiefe wurde ein deutlicher Abfall beobachtet.

Generell wird aufgrund der im Rahmen des Forschungsvorhabens gewonnenen Erkenntnisse vorgeschlagen, dass der Chloridgehalt im Untergrund vor dem Aufbringen eines Tunnelanstrichsystems auf ein Niveau gesenkt werden soll, bei dem auch aufgrund weiterer z. B. durch im Anschlussbereich Randstreifen-Tunnelulme eingebrachte Chloride, keine zeitnahe weitere Schädigung bzw. Anreicherung zu erwarten ist. Auf Basis der Erkenntnisse des gegenständlichen Forschungsvorhabens sollte ein Wert von 2 Prozent Chlorid bezogen auf die Zementmasse im Untergrund nicht überschritten werden, da es im Zuge der Nutzungs- bzw. Lebensdauer von Anstrichsystemen zu einer weiteren Anreicherung kommt und bereits bei Chloridgehalten größer 4 Prozent der Zementmasse im Labor deutliche Schadenserscheinungen durch Festigkeitsabfälle (Indikator des Ablösens) beobachtet werden konnten.

# Absorptionsbeton – Teil 2

DI Thomas Schönbichler, Cooperative Leichtbeton Werbegemeinschaft GmbH  
DI Christian Rauch, PORR AG, Technologiemanagement | Technologieentwicklung

## Der ursprüngliche Beweggrund: Schäden an Personen und Bauwerken nach wie vor im Zunehmen

Nachweislich werden die Vorkommnisse im öffentlichen Straßenverkehr, bei denen Personen und/oder Bauwerke zu Schaden kommen immer gravierender und dramatischer. Sei es, dass ein Bus im Tunnel frontal gegen eine Wand fährt oder dass vermehrt große Gesteinsbrocken auf Straßen oder Schutzbauwerke krachen. Durch verschiedene Umstände steigen nicht nur die Belastungen durch den Verkehr, sondern auch die Auswirkungen durch Verkehrsunfälle und extreme Naturereignisse. Aus eben jenen Gründen kam es durch eine konkrete bauherrenseitige Fragestellung an die Cooperative Leichtbeton Werbegemeinschaft GmbH und die PORR-TM/TE zu dem Ansatz, die bei solchen Geschehnissen wirkende kinetische Energie, mit Hilfe von Leichtbetonen zu einem großen Teil zu absorbieren.

## Forschung bedeutet Neues zu suchen und möglichst gut umzusetzen

Das Thema ist für die Verantwortlichen der öffentlichen Hand von großem Interesse und Anlass genug Vertreter der ÖBB, der ASFINAG und des Landes Salzburg in einem Steuerungsausschuss aktiv an dem Forschungsprojekt teil zu nehmen. Im Oktober 2013 wurde der Cooperative Leichtbeton Werbegemeinschaft GmbH als Förderwerber die Bewilligung zu dem mit 60% von der FFG geförderten Projekt erteilt. Als Sponsoren trugen die Leichtgesteinshersteller Liapor und Technopor, Der Textilfaserhersteller Lenzing AG und der Zusatzmittelhersteller BASF einen Teil der erforderlichen Barmittel bei. Die Firmen KFTH (Kirchdorfer Fertigteilverwaltung), Porr AG und Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH bringen den ebenso bedeutenden Beitrag der sogenannten In-kind- Leistungen ein. Als wissenschaftliche Partner wurden die TU-Graz, Abteilung VSI und die Universität Innsbruck, AB Materialtechnologie gewonnen, die technische Betreuung erfolgt durch das Büro Dr. W. Lindlbauer.

Das vorrangige Ziel dieses Projektes war die Weiterentwicklung der aus dem Vorgängerprojekt gewonnenen hochenergieabsorbierenden Leichtbetonzusammensetzungen unter dem besonderen Aspekt des Personenschutzes, der erhöhte Anforderungen an das Absorptionsverhalten stellt. Natürlich dienen diese Erkenntnisse den unterschiedlichsten Anwendungsgebieten, denn neben den technischen Aspekten können jetzt auch vergleichende wirtschaftliche Aspekte mit berücksichtigt werden.

## Neue Leichtbetonzusammensetzungen mit Textilfasern verbessern die Eigenschaften

Nachdem die untersuchten Leichtbetonzusammensetzungen mit ihren Eigenschaften ihre prinzipielle Tauglichkeit unter Beweis gestellt haben, wurden weitere Verbesserungen durch verschiedene Variationen, vor allem durch die gezielte Auswahl an Fasercompounds, angestrebt und erreicht. Um die hohen dynamischen Belastungsannahmen – für ein möglichst breites Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten – bestmöglich absorbieren zu können, wurden neue Prüfformen entwickelt, die eine Notwendigkeit aus dem Vorgängerprojekt verfolgen, nämlich zusätzlichen Absorptionsweg zur Verfügung zu stellen und diesen auch prüftechnisch darstellen zu können. Die geometrische Gestaltung und die Herstellung dieser Prüfformen stellte sich als Herausforderung dar und wird auch Einfluss auf weitere Entwicklungen haben.

Nachdem für die Prüfung von dynamischen Eigenschaften eine neue Prüfmethodik entwickelt wurde, galt es diese Impaktorversuchsanlage weiter zu verbessern. Hierbei ist es möglich einen Leichtbetonprobekörper durch einen Impaktor mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten dynamisch zu belasten. Als Ergebnisse werden die verbleibende Kraft hinter dem Probekörper, die Eindringtiefe und die negative Beschleunigung des Impaktors ab dem Zeitpunkt des Aufpralls gewonnen. Der Stahlrahmen wurde stabi-



ler ausgeführt, jedoch so, dass er noch immer transportabel ist. Die Führungsschienen wurden neu gestaltet, sodass Verformungen durch die dynamische Belastung hintan gehalten werden. Des Weiteren wurde ein neuer Pneumatik Zylinder eingebaut, der sehr gleichmäßige Beschleunigungen ermöglicht und der Anpralltisch wurde in einer möglichst steifen Form ausgeführt, sodass kaum Verluste durch Verformungen auftreten.

#### Simulation trifft Statik

Die Resultate dieser sogenannten Kleinimpaktorversuche ergeben die dynamischen Eigenschaften und Kennwerte der Leichtbetonzusammensetzungen. Die Werte dienen dazu, mit dem, im Vorgängerprojekt entwickelten und validierten Berechnungsmodell im Rahmen einer speziellen Finite Elemente Software Gemeinsam mit den statischen Kennwerten bildeten sie die Basis für das neu eingeführte Beurteilungskriterium bzw. die Kenngröße **„Absorptionszahl“**.

Somit ist es nun möglich, Materialien und damit hergestellte Absorptionskörper hinsichtlich ihres Absorptionsvermögens von kinetischer Energie zu beurteilen und auch das Verhalten an Bauwerken zu vergleichen. Des Weiteren wird angestrebt, eine Bemessungshilfe in graphischer Form zu erstellen und konkrete Anwendungsbeispiele zu simulieren.

In jedem Fall soll die Anwendung des Absorptionsbetons dazu führen, dass die einwirkende kinetische Energie zu einem großen Teil durch Verformung des Absorptionskörpers umgewandelt wird. Die nicht durch Energieumwandlung verbleibende Kraft des Impakts soll von einer konzentrierten Punktlast mittels Lastausbreitung zu einer kleineren Flächenlast reduziert werden. Im Vergleich zu herkömmlichen Materialien soll- durch die niedrigen spezifischen Gewichte der Leichtbetonzusammensetzungen- die Tragkonstruktion auch statisch in einem geringeren Ausmaß belastet werden. Die Möglichkeiten liegen auf der Hand: entweder entweder Ertüchtigung bestehender Bauwerke oder schlankere und kostengünstigere Dimensionierung neuer Bauwerke.

#### Die Ergebnisse in der Praxis anwendbar

Neben den theoretischen Elementen stellten praktische Umsetzungsversuche einen wesentlichen Teil dieses Projektes dar. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die großtechnische Reproduzierbarkeit, auf die Förderbarkeit und die Verarbeitbarkeit der im Labor entwickelten Leichtbetonzusammensetzungen gelegt.

Als Ergebnisse sind besonders zwei Anwendungsbeispiele zu nennen, die am Ende des Projektes zur Verfügung stehen sollen, nämlich die Simulation eines Steinschlages auf eine Galerie und der Anprall eines Fahrzeuges. Des Weiteren sind Bemessungshilfen, samt einer standardisierten Graphik für eine erste Abschätzung, und das weiter entwickelte Merkblatt, das an eine Richtlinie angelehnt ist, zu nennen. Sie stellen die Basis für neue Produktentwicklungen dar und werden der Branche zur Verfügung gestellt.

Autoren und Vortragende:

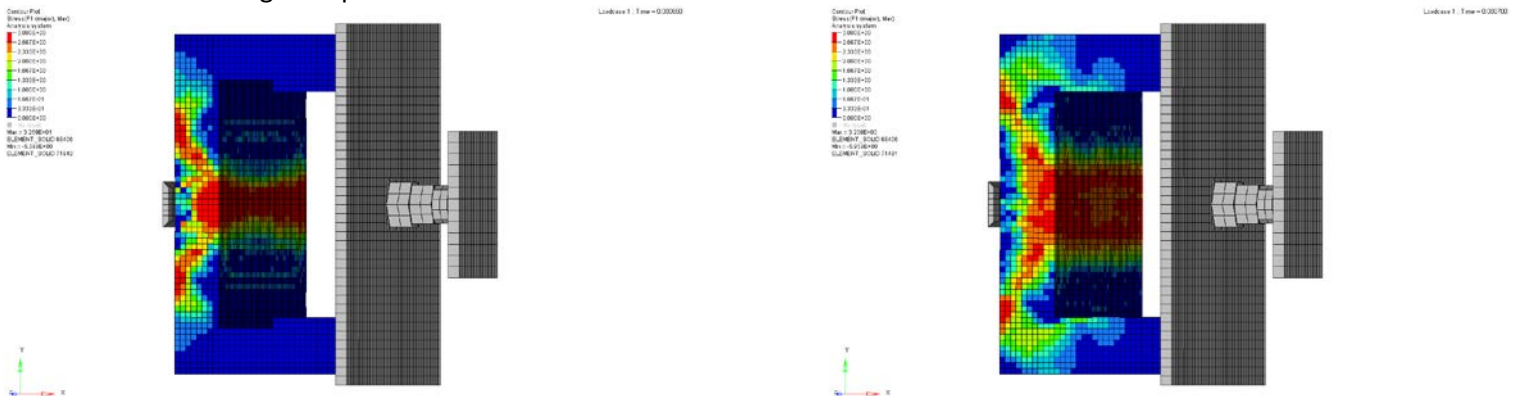
Cooperative Leichtbeton Werbegemeinschaft GmbH  
A-1061 Wien, Gumpendorferstraße 19 - 21  
Kontaktperson: DI Thomas Schönbichler  
Mobil: 0664 423 77 52, e-mail: [c.leichtbeton@aon.at](mailto:c.leichtbeton@aon.at)  
[www.leichtbeton.at](http://www.leichtbeton.at)

PORR AG  
Technologiemanagement | Technologieentwicklung  
7. Haidequerstrasse 1, 1110 Wien  
Kontaktperson: DI Christian Rauch  
Mobil: 0664 626 59 77, e-mail: [christian.rauch@porr.at](mailto:christian.rauch@porr.at)

# Neue Impaktorversuchsanlage an der Universität Innsbruck, AB Materialtechnologie



Simulation eines Impakts auf die Frontfläche der neuen Prüfform an der TU-Graz, Abteilung VSI mit einem linienförmigen Impaktor.



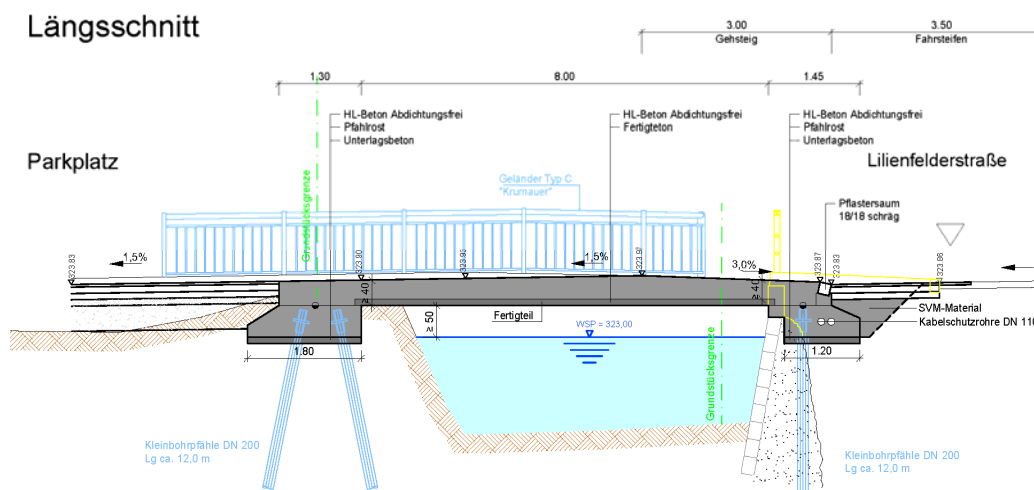
## Kolloquium 2014

„Forschung & Entwicklung für Zement und Beton“  
Zusammenfassung

### Innovative Brücken aus Hochleistungsbeton in Fertigteilbauweise, mit direkt befahrbarer Oberfläche Praxisbericht

Durch den Einsatz von Hochleistungsbeton können Brücken mit direkt befahrbarer Oberfläche dauerhaft hergestellt werden. Bisher wurde diese Möglichkeit in Österreich nur unzureichend genutzt. Die integrale Bauweise mit Fertigteilen und Hochleistungsbeton mit direkt befahrbarer Fahrbahnoberfläche ist insbesondere für kleinere Brücken mit geringem Verkehrsaufkommen eine rasche und kostengünstige Bauweise und wurde 2013 bei Brücken zur Erschließung von Supermärkten in Wilhelmsburg und Hinterbrühl weiterentwickelt und umgesetzt.

Anhand des Praxisbeispiels der in Wilhelmsburg errichteten Brücke wird über die positiven Erfahrungen während der Planung, Bauherstellung und der bisherigen Nutzung berichtet.



#### Rahmenbedingungen:

- Äußerst geringe Bauhöhe.
- Unterstellungsfreie Herstellung ohne Eingriff in das Gewässer und die Uferbereiche
- Wartungsarme Konstruktion
- Sehr kurze Bauzeit

## Brückenkonstruktion:

- Fundierung mit Kleinbohrpfählen
- Tragwerk unterstellungsfrei in Fertigteilbauweise
- direkt befahrbarer Aufbeton mit Hochleistungsbeton (Integrale Bauweise)

Insbesondere werden folgende **innovative Aspekte** erläutert:

- Planungsprozess - Value Engineering zur Lösungsfindung der optimalen Konstruktion und der kreativen Detaillösungen, Optimierung der Bauteilabmessungen
- Arbeitsvorbereitung – kreative Ansätze für die Bauhilfsmaßnahmen, Herstellung von mehreren Probefeldern zur Optimierung der Betonverarbeitung, Oberflächentextur, Griffigkeit und des Betonierablaufes
- Erfahrungsbericht über Verfügbarkeit und Verarbeitung des HL Betons, Nachbehandlung, Qualitätssicherung und Prüfungen während und nach der Herstellung
- Vorteile gegenüber herkömmlicher Bauweise (Bauzeitgewinn, wartungsarme Konstruktion, Minimierung der Herstellungs- und Erhaltungskosten)



Auftraggeber:

Amt der NÖ Landesregierung:

Ausführende Baufirma:

Planung und örtliche Bauaufsicht:

BILLA AG, Die Bautechniker Projektierung GmbH

Gruppe Straße – ST 5 Brückenbau, Straßenbauabteilung 5

STRABAG DIR AD Verkerkshrswegebau

AXIS Ingenieurleistungen ZT GmbH

Norbert Maderböck, DI

## Fahrbahnübergangskonstruktion aus Beton Bau und Versuche an einem Prototyp

Dipl.-Ing. Bernhard Eichwalder / Prof. Dr. Johann Kollegger  
TU Wien Institut für Tragkonstruktionen - Betonbau

### Einleitung:

Am Institut für Tragkonstruktionen – Betonbau der TU Wien wurde in den letzten Jahren eine neuartige Fahrbahnübergangskonstruktion (FÜK) entwickelt. Die FÜK besteht aus aneinandergereihten Betonelementen, die durch korrosionsgeschützte Zugglieder miteinander verbunden sind. Die Betonelemente werden als trogförmige Betonfertigteile vorgefertigt und auf einer Gleitschicht verlegt. Die Zugglieder werden mit einem Ende im Brückentragwerk und mit dem anderen Ende im Widerlagerblock verankert. Auf die Betonelemente wird eine SAMI-Schicht (Stress Absorbing Membrane Interlayer) aufgebracht und darüber der bituminöse Fahrbahnaufbau.

Wenn sich die Brücke infolge von Schwinden und Kriechen beziehungsweise Temperaturschwankung verformt, öffnen oder schließen sich die Fugen zwischen den Betonelementen. Somit wird die gesamte Verformung auf mehrere kleine Fugenöffnungen aufgeteilt und kontinuierlich abgebaut. Durch die zwischen den Betonelementen und der bituminösen Tragschicht angeordnete SAMI-Schicht werden die Dehnungen gleichmäßig in die Asphaltdeckschicht eingeleitet.

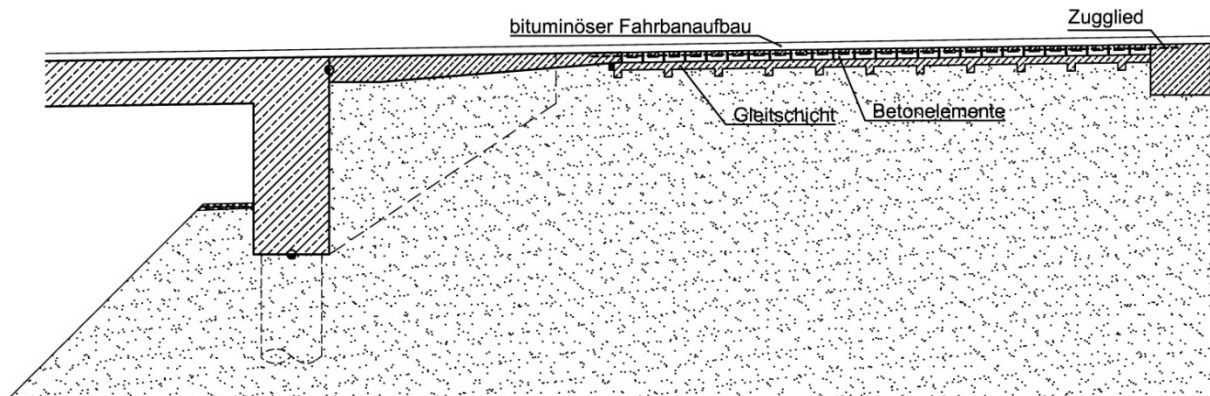


Abbildung 1: Mögliche Anordnung der FÜK hinter einer obenliegenden Schleppplatte

### Vorteile:

- Kein Fahrbahnübergang im klassischen Sinne notwendig
- Durchgängiger Fahrbahnbelag
- Inspektion möglich, da die FÜK direkt unter der Asphaltdeckschicht angeordnet ist.
- Falls erforderlich kann die FÜK im Zuge einer Generalsanierung mit der Fahrbahndecke getauscht werden.
- Keine höheren Lärmemissionen
- Besserer Fahrkomfort
- Bituminöser Fahrbahnaufbau der Brücke soll durchgängig angewendet werden

### Versuch am Prototyp:

Der Prototyp der Fahrbahnübergangskonstruktion wurde in einer Breite von 3 Metern ausgeführt. Die Länge der Übergangskonstruktion beträgt 8 Meter. Mit diesen Abmessungen kann eine Längenänderung von zirka 23 mm aufgenommen werden. Am Prototyp werden in mehreren Bauabschnitten Versuche durchgeführt.

Nach dem ersten Bauabschnitt wurde die Übergangskonstruktion ohne bituminösen Fahrbahnaufbau getestet. Das Ziel dieses Versuches war es zu überprüfen, dass sich die Fugen gleichmäßig öffnen und somit die Endverschiebung der Brücke kontinuierlich über die Länge der FÜK abgebaut wird. Die Ergebnisse zeigten, dass die Verformung gezielt über die Länge abgebaut wurde. Die Fugenöffnungen zwischen den jeweiligen Elementen waren gleichmäßig verteilt.

Im zweiten Bauabschnitt wird der bituminöse Fahrbahnaufbau aufgebracht. Danach werden ebenfalls Versuche an der gesamten Konstruktion durchgeführt. Diese Versuche werden voraussichtlich im Winter 2014/15 stattfinden. Das Ziel dieser Versuche wird sein, die Dehnungen in die Asphaltsschicht einzuleiten, die Gesamtsteifigkeit zu prüfen, sowie den für die FÜK kritischen Winterlastfall zu testen.



Abbildung 2: Prototyp vor und während dem Betonieren

Das Forschungsvorhaben wird vom Institut für Verkehrswissenschaften – Forschungsbereich Straßenwesen bezüglich der Asphalttechnologie und vom Institut für Tragkonstruktionen – Betonbau bezüglich der Betonteile bearbeitet.

Die Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktiengesellschaft vertreten durch die ASFINAG Bau Management GmbH hat das Forschungsvorhaben finanziell unterstützt und als Ausgleich von der TU Wien eine kostenfreie Lizenz zur Nutzung des patentierten Fahrbahnübergangs erhalten.

---

# Optimierung von Erhaltungsmaßnahmen von Stahlbetonbrücken unter dem Aspekt der Lebenszykluskosten

DI Sertan Özer<sup>a</sup>, DI Dr. Markus Vill<sup>b</sup>

<sup>a</sup> STRABAG AG, Donau-City-Straße 9, A-1220 Wien, ÖSTERREICH

<sup>b</sup> Vill ZT GmbH, Währinger Straße 61, A-1090 Wien, ÖSTERREICH

---

## KURZFASSUNG/ABSTRACT:

Die Autoren beschäftigen sich mit dem Lebenszyklus von Stahlbetonbrücken und den sich daraus ergebenden Ansätzen für eine optimale Instandsetzung. Ausgehend von einer Darstellung häufig auftretender Schäden, die in der Regel zu substanziellen Zustandsverschlechterungen führen, werden geeignete Instandsetzungsmaßnahmen beschrieben, mit denen diese behoben werden können. Weiters sind anhand von Experteninterviews mit Vertretern der Länder, der ASFINAG und der STRABAG jene typischen Schwachstellen in Planung und Ausführung herausgearbeitet worden, deren Vermeidung zu einer wesentlich günstigeren Lebensdauer führt. Ausgehend von Brückenelementen und den jeweils technisch sinnvollen Maßnahmen wurden zu dem Grobkostenkennwerte unter Einbeziehung von Schlussrechnungen abgeschlossener Brückengeneralsanierungen ermittelt. Zusammen mit den aus Befragung und Literaturabgleich ermittelten Lebensdauern konnten so in der Arbeit die Instandsetzungszyklen der einzelnen Brückenelemente definiert und daraus die jährlichen mittleren Instandsetzungskosten abgeleitet werden.

So wurde aufgezeigt, welche Fehler kritisch für die Lebensdauer von Brücken sind und wie durch eine verbesserte Planung und Instandsetzung von Brückenanlagen Optimierungen im Lebenszyklus erreicht werden können.

## 1 EINLEITUNG

Im Österreichischen Straßennetz befinden sich in etwa 27.530 Brücken, davon wurden ca. 90% in Stahl- bzw. Spannbetonbauweise hergestellt (Stand 2010). Ferner sind ungefähr 50% dieser Brücken in den 70er und 80er Jahren erbaut worden, wodurch sie mittlerweile ein Alter erreicht haben, dass im Regelfall und falls nicht bereits durchgeführt, Instandsetzungsmaßnahmen notwendig macht. [1] Die logische Schlussfolgerung ist daher, dass eine große Anzahl an Brücken, und vor allem eine große Anzahl an Stahlbetonbrücken, in näherer Zukunft durch Instandsetzungsmaßnahmen wieder ertüchtigt werden müssen.

Die Notwendigkeit von Instandsetzungsmaßnahmen an einem Brückenbauwerk wird dabei im Zuge von Brückenprüfungen festgestellt, die gemäß RVS 13.03.11 in regelmäßigen Zeitabständen (mindestens alle sechs Jahre), sowie bei konkretem Bedarf, durch den Brückenerhalter durchzuführen sind. Bei diesen Prüfungen wird der bauliche Zustand der Brücke ermittelt, bewertet sowie dokumentiert und anschließend als Grundlage für die Erhebung der kurz-, mittel- oder langfristigen Notwendigkeit von Instandsetzungsmaßnahmen herangezogen.

Im Zuge von Brückenprüfungen werden also Schadensbilder festgestellt und in welchem ungefähren Zeitraum diese zu beheben sind. In den meisten Fällen wird jedoch nicht erörtert, was die genaue Ursache des Schadens ist und in den aller seltensten Fällen wird eine Empfehlung formuliert, mittels welcher Instandsetzungsmaßnahmen die Brücke wieder ertüchtigt werden könnte.

Ursache für viele Schäden an bestehenden Brückenbauwerken sind jedoch nicht nur alterungs- und abnutzungsbedingt, sondern auch häufig auf Fehler zurückzuführen, die bereits während der Planung und/oder Herstellung der Brücke begangen wurden. Die Bedingungen für die Optimierung von Instandsetzungsmaßnahmen sowie deren Kosten sind somit bereits bei Planung zu legen.

## 2 PRAXISNAHE ERFAHRUNGEN ZUR LEBENSZYKLUSORIENTIERTEN PLANUNG, ERRICHTUNG UND NUTZUNG VON STAHLBETONBRÜCKEN

### 2.1 Planungsphase

Brücken sind gemäß ÖNORM EN 1990 (Ausgabe: 2013-03-15) grundsätzlich für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren zu planen und dementsprechend auch zu errichten. Dazu muss allerdings bei der Planung eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung der Brücke stattfinden. In der Praxis werden jedoch lediglich die Herstellungskosten optimiert, während Überlegungen bezüglich längerer Lebensdauer, sowie Inspektions- und Instandsetzungsfreundlichkeit kaum Beachtung finden. Zu den häufigsten Planungsfehlern zählen unter anderem:

- Zu schlanke Konstruktionen,
- schlecht durchdachte Ableitung des Wassers vom Bauwerk,
- zu vielen, nicht notwendigen bewegliche Teile (Lager, Übergangskonstruktionen etc.)
- falsche Expositionsklasse,
- fehlende Fachkompetenz bei der Vergabe etc.

Die Auswahl der kostengünstigsten Planungsvariante, sowie die Auswahl des Billigstbieters für die Herstellung sind weitere Faktoren, die einen negativen Einfluss auf die Lebensdauer einer Brücke haben.

### 2.2 Errichtungsphase

Die Beeinflussung der Errichtungskosten ist während der Errichtungsphase nur mehr bedingt möglich, ganz im Gegensatz jedoch zu den Lebenszykluskosten bzw. der Nutzungsdauer eines Bauwerkes. Maßgebliche Einflussfaktoren für deren Optimierung sind dabei neben der Qualität der Planung und der Materialien die verwendet werden, vor allem die Qualität der Ausführung die während der Bauarbeiten an den Tag gelegt wird. Hier sind die ausführenden Baufirmen und die überwachende Örtliche Bauaufsicht entscheidend, denn nach Angaben von Brückensachverständigen sind

- die mangelhafte Bauqualität bedingt durch mangelhafte Bauausführung (zu geringe Betondeckung, mangelhafte Ausbildung der Abdichtungselemente etc.) und
- die mangelhafte Bauüberwachung bedingt durch mangelhafte Qualität der Bauüberwachung

häufige Ursachen von Brückenschäden. Dies bringt unweigerlich erhöhte Lebenszykluskosten mit sich und kann ferner auch zu einer eingeschränkten Nutzungsdauer führen. Jede noch so gut durchdachte Planung ist damit nur so effektiv, wie ihre Umsetzung auf der Baustelle.

Bei der Ausschreibung und Vergabe von Brückenbauwerken sollten daher nicht nur die Errichtungskosten, sondern auch die zukünftigen Instandhaltungs- und Abbruchkosten ein Entscheidungskriterium für den Auftraggeber darstellen, um den Best- bzw. Billigstbieter zu ermitteln. [2]

### 2.3 Nutzungsphase

Während der Nutzungsphase kann vor allem durch sach- und fachgerechte Umsetzung aller notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen nach dem Stand der Technik, die maximal mögliche, der Planungs- und Errichtungsqualität entsprechende, Nutzungsdauer der Brücke erreicht werden. Daher sollte bereits möglichst frühzeitig die Planung und Budgetierung der Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt werden. Um dies zu ermöglichen, wäre es in einem ersten Schritt wichtig die durchschnittliche Lebensdauer der einzelnen Brückenelemente zu kennen und zu wissen, wie oft erfahrungsgemäß Instandsetzungsmaßnahmen an den verschiedenen Brückenelementen während ihrer Lebens- bzw. Nutzungsdauer von 100 Jahren notwendig sein werden. Dies wurde anhand von Experteninterviews mit Vertretern der Länder, der ASFINAG und der STRABAG sowie Literaturabgleich ermittelt (siehe **Tabelle 1**).



**Tabelle 1.** Anzahl der Instandsetzungsmaßnahmen an Stahlbetonbrücken

Brückenelemente	Ø Lebensdauer	Instandsetzungszyklen während	
		Lebensdauer	Nutzungsdauer von 100 Jahren
Unterbau	90 Jahre	2x	2.22x
Überbau	63 Jahre	2x	3.17x
Lager	33 Jahre	1x	3.03x
Fahrbahnbelag	19 Jahre	1x	5.26x
ÜKO	21 Jahre	2x	9.52x
Abdichtung / Entwässerung	26 Jahre	1x	3.85x
Randbalken	26 Jahre	1x	3.85x
Sonstige Brückenausrüstung	25 Jahre	2x	8.00x

### 3 GROBKOSTENKENNWERTE FÜR INSTANDSETZUNGSMAßNAHMEN VON STAHLBETONBRÜCKEN

Instandsetzungen von Brücken sollten zur Kostenoptimierung und Reduzierung von Verkehrsbeeinträchtigungen gesammelt im Zuge von Generalsanierungen durchgeführt werden. Bei der Wahl der vermeintlich richtigen Instandsetzungsmaßnahmen ist dabei darauf zu achten, dass nicht nur der Schaden selbst, sondern vor allem auch die Ursache für den Schaden behoben wird.

So wäre es bei einer beschädigten Betonoberfläche, die sich in Form von Ausblühungen, Nassstellen oder Sinterfahnen bemerkbar macht, nur wenig sinnvoll lediglich die schadhafte Stelle instand zu setzen. Viel mehr müsste analysiert werden woher der Schaden entstammt. Die Ursache solcher Defekte liegt meist in einer fehlerhaften Entwässerung oder Abdichtung oder ist bedingt durch direkte bzw. indirekte (Sprühnebel) Einwirkung von im Wasser gelöste Taumitteln. Denn erst, wenn auch die Schadensursache behoben wird, können Folgeschäden wie Betonabplatzungen oder übermäßige Korrosion der Bewehrung verhindert bzw. reduziert werden.

Häufig können Instandsetzungsmaßnahmen jedoch auf Grund des geringen oder nicht vorhandenen Budgets nicht durchgeführt werden. Um diesen Zustand zu vermeiden sollten daher jedes Jahr finanzielle Mittel angespart werden, um die Instandsetzungsmaßnahmen durchführen zu können.

In **Tabelle 1 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** wurde nun bereits aufgezeigt, wie oft Instandsetzungsmaßnahmen während der Lebensdauer einer Stahlbetonbrücke an den einzelnen Brückenelementen durchgeführt werden. In einem nächsten Schritt muss nun ermittelt werden, wie hoch die Kosten pro Instandsetzungsmaßnahme der einzelnen Brückenelemente über eine Nutzungsdauer von 100 Jahren sind. Um der daraus resultierenden Aussage auch eine allgemeine und Brückenübergreifende Gültigkeit zu geben, wurden die Kosten pro m<sup>2</sup> Brückenfläche ermittelt (siehe **Tabelle 2**).

**Tabelle 2.** Grobkostenkennwerte für Instandsetzungsmaßnahmen an Stahlbetonbrücken

Brückenelemente	min. Kosten / m <sup>2</sup>	Ø Kosten / m <sup>2</sup>	max. Kosten / m <sup>2</sup>
Unterbau	83.03 EUR / m <sup>2</sup>	316.05 EUR / m <sup>2</sup>	491.53 EUR / m <sup>2</sup>
Überbau	118.61 EUR / m <sup>2</sup>	407.80 EUR / m <sup>2</sup>	676.50 EUR / m <sup>2</sup>
Lager	96.52 EUR / m <sup>2</sup>	96.52 EUR / m <sup>2</sup>	96.52 EUR / m <sup>2</sup>
Fahrbahnbelag	154.27 EUR / m <sup>2</sup>	252.61 EUR / m <sup>2</sup>	395.01 EUR / m <sup>2</sup>
ÜKO	172.26 EUR / m <sup>2</sup>	172.26 EUR / m <sup>2</sup>	172.26 EUR / m <sup>2</sup>
Abdichtung / Entwässerung	208.75 EUR / m <sup>2</sup>	273.08 EUR / m <sup>2</sup>	370.39 EUR / m <sup>2</sup>
Randbalken	143.70 EUR / m <sup>2</sup>	356.83 EUR / m <sup>2</sup>	682.64 EUR / m <sup>2</sup>
Sonstige Brückenausrüstung	650.28 EUR / m <sup>2</sup>	925.94 EUR / m <sup>2</sup>	1.355.69 EUR / m <sup>2</sup>
Summe	1.627.42 EUR / m <sup>2</sup>	2.801.08 EUR / m <sup>2</sup>	4.240.53 EUR / m <sup>2</sup>

Die Ermittlung der Grobkostenkennwerte erfolgte mittels Schlussrechnungen abgeschlossener Brückengeneralsanierungen. Die Summe dieser Ergebnisse (siehe letzte Zeile **Tabelle 2**) wurde anschließend mit den Herstellkosten dividiert und durch 100 geteilt (siehe **Tabelle 3** **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

**Tabelle 3.** Prozentueller Anteil der Herstellungskosten an den jährlichen Instandsetzungskosten

Herstellkosten	min. Kosten / m <sup>2</sup>	Ø Kosten / m <sup>2</sup>	max. Kosten / m <sup>2</sup>
	1.627.42 EUR / m <sup>2</sup>	2.801.08 EUR / m <sup>2</sup>	4.240.53 EUR / m <sup>2</sup>
1.307.12 EUR / m <sup>2</sup>	1.25 %	2.14 %	3.24 %
1.673.33 EUR / m <sup>2</sup>	0.97 %	1.67 %	2.53 %
2.036.30 EUR / m <sup>2</sup>	0.80 %	1.38 %	2.08 %

Daraus lässt sich Schlussfolgern, dass jedes Jahr im Mittel 1.67% der Herstellkosten für die Instandsetzung der Brücke anzusparen sind.

#### 4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Fehler, die kritisch für die Lebensdauer von Brücken sind, können durch eine verbesserte Planung und Instandsetzung von Stahlbetonbrücken vermieden und dadurch eine Optimierung im Lebenszyklus erreicht werden. Wichtig ist dabei, dass ein ausreichendes Budget für die Durchführung von Instandsetzungsmaßnahmen eingeplant wird, sowie die richtigen Maßnahmen in dem erforderlichen Umfang angesetzt werden.

Die Lebenszyklusoptimierung einer Brücke stellt für die Zukunft eine unabdingbare Notwendigkeit dar. Denn die immer knapper werdenden Ressourcen müssen effizient und nachhaltig eingesetzt werden, was vor allem durch eine weitere Systematisierung der Qualitätskriterien für Planung, Herstellung und Nutzung erreicht werden kann.

#### LITERATURVERWEISE

- [1] Eichinger-Vill, Eva M.: Schulung Brückeninspektoren. Basislehrgang. Rechtliche und technische Grundlagen. Wien, FSV 2013.
- [2] Glavas, Pero: Kostenkennwerte für den Brücken-Neubau. Graz, FH JOANNEUM, Dipl. Arb., 2011.
- [3] Unterreiter, Johannes: Schulung Brückeninspektoren. Basislehrgang. Schadens Erfassung am Bauwerk. Betonbrücken. Wien, FSV 2013.

## Anwendungsbereiche der Polarisationsmikroskopie von zementgebundenen Baustoffen

Brigitte Pestitschek<sup>+</sup> und Farkas Pinter<sup>\*</sup>

<sup>+</sup> TPA Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH, [brigitte.pestitschek@tpaqi.com](mailto:brigitte.pestitschek@tpaqi.com)

<sup>\*</sup> Bundesdenkmalamt, Naturwissenschaftliches Labor, [farkas.pinter@bda.at](mailto:farkas.pinter@bda.at)

Zementgebundene Baustoffe stellen in der modernen Architektur, insbesondere bei dauerhaften Bauwerken, einen nicht mehr wegzudenkenden Werkstoff dar. Die mechanische und (physiko-)chemische Beanspruchung an diese hydraulisch gebundenen Materialien steigen stetig durch etwa erhöhte Verkehrsbelastung, Umwelteinflüsse etc. Um dieser Belastung entgegen zuwirken und qualitativ hochwertige Betone und Mörtel zu garantieren, steigen auch die Anforderungen an diese Baumaterialien. Um die Materialeigenschaften von Beton bzw. Mörtel zu verstehen, ist es notwendig, das Mikrogefüge zu erforschen und interpretieren zu können. Aufgrunddessen sind eine exakte Erforschung und das Erfassen der Wechselwirkungen zwischen den Komponenten Zement, Gestein und Wasser unerlässlich.

Profunde Methoden stellen mikroskopischen Analysen wie zum Beispiel die Polarisationsmikroskopie dar.

Um klare Aussagen treffen zu können sind folgende Beobachtung im Feld bis zur Laboruntersuchung notwendig:

- Konkrete Zielsetzung der Untersuchung
- Anzahl und Größe der Proben/Dünnschliffe je nach Fragestellung
- Informationen und Dokumentation vom Bauwerk und der Lokation (Alter, Verarbeitung, Fotos, Profile etc.)

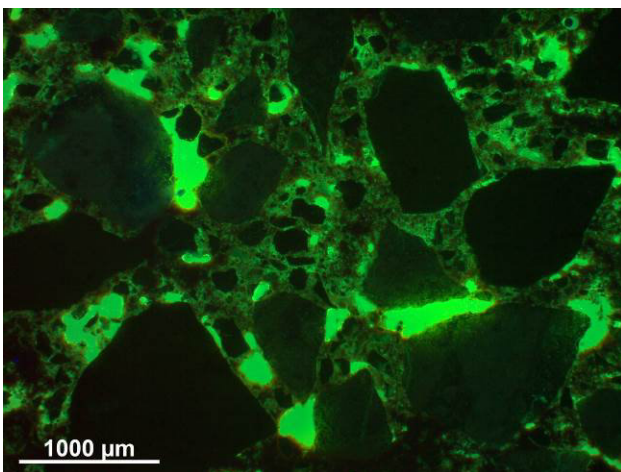


Abb. 1: Mikrofoto mit UV- Licht: Mörtel mit Luftporen (hellgrün)

Diese Methode erlaubt Untersuchungen des Zements (-steins), der Aggregate sowie der Porosität und dessen Zusammenwirken. Darüberhinaus, können Fehlerquellen, welche bei der Betonproduktion zum Beispiel bereits auf der Baustelle verursacht werden, bestimmt werden.

Hier sind nur beispielsweise ein zu hoher Wassergehalt, eine nicht optimale „Sieblinie“ der verwendeten Aggregate oder eine nicht optimale Verdichtung erwähnt.

Aber auch die Eignung der verwendeten Betonrezeptur/Zementtyp (CEM I, CEM II etc.) für spezielle Anwendungsbereiche kann mit Hilfe eines Dünnschliffs festgestellt werden. Desweiteren ist die

Mikroskopie ein äußerst hilfreiches Werkzeug zur Bewertung von Schadensmechanismen wie zum Beispiel zur Identifikation von Alkali- Kieselgel, Sulfattreiben, Frostschäden usw.

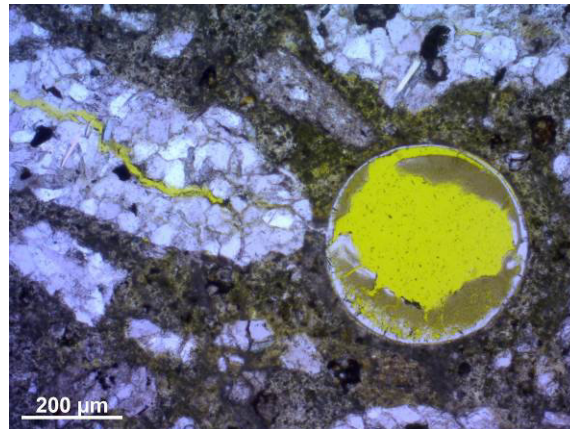


Abb. 2: Mikrofoto von Luftpore (gelb) mit kristallisiertem Kieselgel

Der für den Beton schädliche Schwefel (sek. Ettringitbildung, Sulfattreiben) kann in den Aggregaten in Form von Pyrit (=Eisen(II)- Disulfid) aber auch durch schwefelhaltige Lösungen aus der Umgebung in das Betongefüge eingebracht werden. Das Vorhandensein von Pyrit oder anderen Schwefel- haltigen Mineralphasen kann mittels Blick durch das Mikroskop geklärt werden. Genauso lassen sich Ursachen für optische Mängel wie Verfärbungen, verursacht durch das Verrosten von Fe- haltigen Mineralen feststellen.

Vorteile der Polarisationsmikroskopie liegen in der schnellen Probenpräparation, der geringen dafür benötigten Probenmenge (Handstück) sowie in den umfangreichen Beobachtungsmöglichkeiten. Voraussetzung für eine aussagekräftige Untersuchung sind ein Polarisationsmikroskop, ein sorgfältig präparierter Dünnschliff sowie ein erfahrener Experte. Die Einsatzmöglichkeiten der Polarisationsmikroskopie sind sehr breit gefächert und lassen eine Untersuchung des Gesamtsystems Zement – Gestein – Porosität und dessen Wechselwirkungen zu. Es lassen sich Informationen wie Bindemitteltyp, -menge, Anordnung/räuml. Verteilung, Umwandlungen der Mineralphasen, Porosität, Risse aber auch Fehlernordnungen feststellen. Daher ist die Mikroskopie für das Verständnis von Materialeigenschaften äußerst hilfreich und wird auch international sehr vielseitig angewendet.

## Betonfertigteile-Gleistragplatten für die neue ÖBB-Wagenwaschanlage am Grazer Hauptbahnhof

DI Dr. Helmut Steiner und DI Alfred Hüngsberg, ÖBB-Infrastruktur AG

### Zusammenfassung

Von der ÖBB werden in Österreich mehrere Zug-Wagenwaschanlagen betrieben, die laufend durch moderne Anlagen ersetzt werden. Bei der neuen Waschanlage in Graz kamen als Fundierung für den Stahlbau der rd. 100 m langen Halle, zur Befestigung des Gleisrostes wie auch als Sammelbecken für die anfallenden Waschwässer, Betonfertigteile-Gleistragplatten zur Anwendung.

Bedingt durch die unterschiedlichen zur Anwendung kommenden Reinigungsmittel mit pH-Werten zwischen ca. 2 und 13 kommt es zu einer großen Bandbreite an chemischen Beanspruchungen.

Aus diesem Grund wurde bei den Gleistragplatten versucht, erstens über eine spezielle Betonzusammensetzung so wie zweitens durch eine Oberflächenbeschichtung diesem Angriff einen entsprechenden Widerstand entgegen zu setzen.

### 1. Einleitung

Von der ÖBB werden an mehreren Standpunkten in Österreich (z.B. in Wien, Graz, Villach, Innsbruck, Wolfurt, ...) Zug-Wagenwaschanlagen betrieben. Die „**Erste**“ Generation dieser Waschanlagen steht entweder gänzlich im Freien oder wird durch ein Flugdach vor Witterungseinflüssen geschützt.



Die „**Zweite**“ Generation entspricht den beiden in Wien/Floridsdorf und Villach vor rund 10 Jahren in Betrieb genommenen Waschanlagen, die sich aus mehreren Waschständen (Einreibstand, Stirn-Heckwäsche, Seitenwäsche, Abwaschstand) zusammensetzen, saure Waschmittel verwendet werden und in ca. 100 m langen, geschlossenen Hallen untergebracht sind.



Die „**Dritte**“ Generation befindet sich derzeit in Umsetzung. Die neue Waschanlage in Graz ging heuer (2014) und jene in Wien/Matzleinsdorf wird 2015 in Betrieb gehen. Der Unterschied zur 2. Generation stellt sich in der flexiblen, angepassten Verwendung unterschiedlicher Reinigungsmittel dar. Für Wäschen nach längeren Waschpausen (kalte Jahreszeit - Winter) kommen saure Mittel für eine „Grundwäsche“ zur Anwendung, die die am Wagenkasten haftenden metallischen Bahnstäube am besten löst. Bei regelmäßigen Wäschen (Mai bis Oktober), die in Abständen von unter einer Woche vorgesehen sind, kommen neutrale oder basisch/alkalische Reinigungsmittel zum Einsatz. Damit wird es auch möglich, die erforderlichen Aufwendungen für die Abwasseraufbereitung der Waschwässer stark zu reduzieren.



## 2. Betonfertigteile-Gleisstragwannen

Bei Waschanlagen der „**Zweiten**“ Generation kamen für den Unterbau sogenannte WECO-Wannen aus Edelstahl zur Anwendung. Bei dieser Bauart ist es aber erforderlich, weitere Einzel- oder Streifenfundamente für die Halle selbst, wie auch für die Sprüh- und Waschstände, zu errichten.

In Deutschland werden seit geraumer Zeit Stahlbetonwannen in Ortbeton oder als Fertigteile verwendet. Diesem Beispiel folgend wurde auch für Graz dieses für Österreich neue und viele Vorteile bringende Konzept verfolgt.

Über eine EU-weite Ausschreibung wurde die detaillierte Planung, die Produktion/Fertigung, die Oberflächenbeschichtung der Wannen im Werk, als auch der Transport nach Graz vergeben. In der Ausschreibung wurde die Betongüte, die Grundabmessungen und vor allem die Toleranzen der Fertigteile detailliert beschrieben und festgelegt. Schlussendlich konnte das Stahlbetonfertigteilewerk b+f Dorsten (D-46282 Dorsten) als Bestbieter ermittelt und mit der Leistung beauftragt werden.

Nach der Freigabe der Schalungs- und Bewehrungspläne und der für die Bahn sehr wichtigen Erdung, konnte mit Beginn 2013 mit der Serienfertigung von in Summe 27 großen, 8 kleinen Wannen und 4 Wannen-Endbalken begonnen werden. Anfang Februar 2013 wurde bei einer Abnahme vor Ort in Dorsten sowohl der Beton, die Bewehrung, die schon produzierten Wannen,



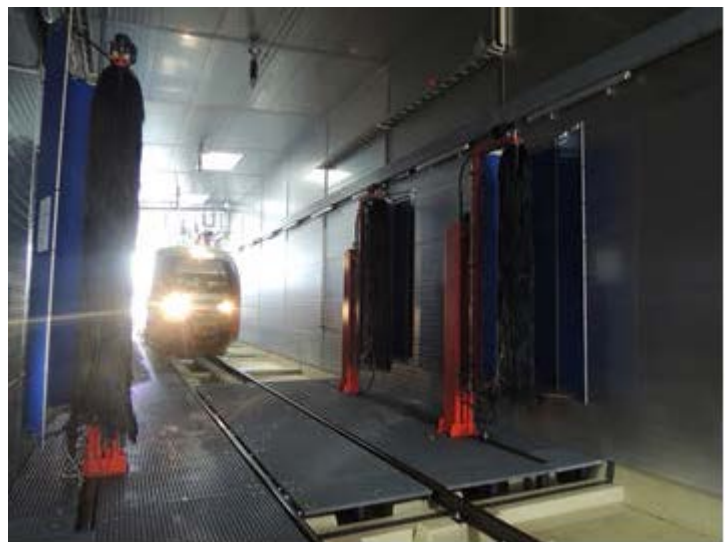
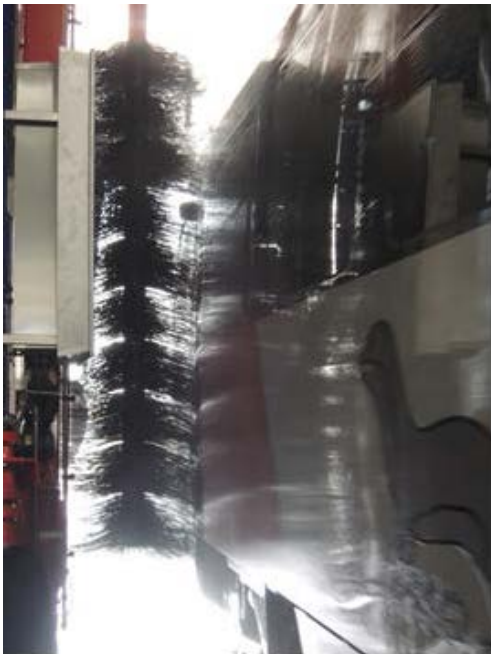


als auch die aufgebrauchte Oberflächenbeschichtung geprüft. Anfang April 2013 trafen alle Betonfertigteile auf einem Ganzzug verladen in Graz ein und wurden innerhalb von 3 Tagen von einem Oberbauteam der ÖBB mit hoher Genauigkeit in ein vorbereitetes Kiesbett verlegt.



Im Anschluss daran wurden die Fugen zwischen den Wannen vor Ort geschlossen und auch teilweise entstandene Schäden an der Oberflächenbeschichtung ausgebessert, als auch die Gleise verlegt.

Ab Ende April 2013 konnte mit dem Stahlbau der Waschhalle und im August 2013 mit dem Einbau der Wasch-, Steuer- und Abwassertechnik begonnen werden. Nach Einstellung der Wasch- und Abwassertechnik auf die unterschiedlichen Geometrien der zu waschenden Zug- und Loktypen, konnte im September/Oktober 2014 der Probe- bzw. Regelwaschbetrieb in Graz aufgenommen werden.





### 3. Betonzusammensetzung

Wie schon unter Pkt. 2 kurz ausgeführt, wurde aufgrund der zu erwartenden chemischen Angriffe eine Betonsorte C45/55/F52/HL-SW nach ÖNORM B 4710-1 vorgegeben. Nachdem mit drei deutschen Fertigteilwerken die Vergabeverhandlungen geführt wurden, mussten die österreichischen Vorgaben den deutschen Gegebenheiten gegenübergestellt werden. Nach der Vergabe an den Auftragnehmer b+f Dorsten wurde gemeinsam ein Mikrosilikagehalt von 9% vom Zementgehalt festgelegt.

### 4. Prüfung vor Ort – Zusammenarbeit mit b+f Dorsten

In enger Abstimmung und guter Zusammenarbeit mit dem Fertigteilwerk wurde die Mischanlage untersucht und eine umfangreiche Identitätsprüfung durchgeführt. Weiters wurde die Bewehrung samt Betondeckung abgenommen, die Schalung sowie bereits produzierte Fertigteile vermessen. Auch Betonierung und Nachbehandlung wurden beobachtet und Verbesserungen diskutiert. Die Vorbereitung der Betonflächen sowie die Beschichtungsarbeiten selbst konnten ebenfalls beobachtet und abgenommen werden. Aufgrund der hohen Frühfestigkeit des Betons war auf die Oberflächenvorbereitung besonderes Augenmerk zu legen.

### 5. Weitere Festbetonprüfungen

Im Zuge der Produktion der Betonfertigteil-Gleistragplatten wurden im Werk „kleine“ Betonplatten im handlichen Format hergestellt, die ohne Beschichtung an unterschiedlichen Punkten in der Waschhalle aufgelegt wurden. Damit soll es über die kommenden Jahre hinweg - sozusagen „In-Situ“ – möglich sein, die Abwitterung unter realen Bedingungen zu verfolgen.

Im Labor wurden drei Platten ohne Beschichtung in einen Trog gelegt und ständig mit einem sauren Reinigungsmittel berieselt. Dabei konnte man sich von der ausgezeichneten Beständigkeit der gewählten Betonsorte überzeugen.

Das linke Foto zeigt dunkel den Beton der Wagenwaschanlage und hell einen Vergleichsbeton zu Beginn der Berieselung. Rechts eine Detailaufnahme der Betonoberfläche nach einem Jahr Berieselung. Der Vergleichsbeton hat sich zu diesem Zeitpunkt bereits aufgelöst.



## **6. Ergebnisse – Ausblick in die Zukunft**

Mit der gewählten Betonsorte können überdurchschnittlich hohe chemische Angriffe abgedeckt werden. Die bisherigen Versuche an Festbetonplatten lassen eine ausreichend lange Haltbarkeit des Systems erwarten. Man könnte auf die Oberflächenbeschichtung verzichten. Vor Ort würde lediglich ein Aufkleben von Dehnfugenbändern über den Fertigteulfugen übrig bleiben und somit in Summe zu einer nicht unwesentlichen Kostenreduktion kommen.

# Sichtbeton im High-Endbereich,

Library und Learning Center, WU Wien

DI ANNE WAGNER



## Inhaltsverzeichnis

1	Statement .....	2
2	Beteiligte und Ihre Funktion .....	3
3	Technische Planung und Ausschreibungsvorbereitung.....	4
4	Spezifikation von Sichtbeton .....	5
4.1	Regelwerke .....	5
4.2	Spezifikation des Sichtbetons .....	5
4.3	Mock Up.....	6
5	Ausschreibung.....	7
6	Errichtung.....	7
6.1	Planfreigaben Schalplan AN durch Architektenvertreter /QM.....	7
6.2	Umsetzung auf der Baustelle .....	7
7	Abnahme, Aufgabe des Sichtbetonteam .....	8
8	Risikofaktoren .....	8
9	Erfolgsfaktoren.....	9

# Sichtbeton im High-Endbereich, Library und Learning Center, WU Wien

Bauherr:	Big&WU Errichtungsgesellschaft, Bet.Techn. Dr. R. Travnicek
Architekt:	Zaha Hadid, Büro Deutschland,
Generalplaner:	Vasko + Partner (Generalplaner),
Projektsteuerung	Drees & Sommer (Projektsteuerung),
Örtliche Bauaufsicht:	Ingenios-Gobiet (ÖBA),
Bauunternehmen:	GRANIT mit meva (Baufa) Bet.Techn. Ing. Mag. Treffinger TU-Graz



## 1 Statement

- (1) man bekommt das, was man bereit ist zu bezahlen
- (2) man verwirklicht das, was man anstrebt und in der Lage ist mental zu visualisieren
- (3) man erhält das, was architektonisch dargestellt wird
- (4) man erreicht das, was man technisch versteht und entsprechend beschreibt
- (5) es gelingt das, was der Handwerker beherrscht und bemüht ist zu leisten
- (6) man bekommt das, was man Willens ist organisatorisch umzusetzen



Österreichische Firmen sind handwerklich in der Lage hochwertigsten Sichtbeton zu liefern, wenn die entsprechenden Rahmenbedingungen geschaffen werden können.  
Es gelingt, wenn jeweils eine Person bei jedem Stakeholder die hochwertige Umsetzung als persönlichen Aufgaben annimmt und alles daransetzt, die Ziele zu erreichen

*Anmerkung: Man ist in der qualitätssichernden Rolle nie „geliebt“, da man zum „Gewinn mindernden Faktor“ wird. Aber als Profi weiß man, der Erfolg bleibt Allen, der harte Weg dorthin verklärt sich und wird schöne und stolze Geschichte der Erinnerung.*

## 2 Beteiligte und Ihre Funktion

Die Herstellung von hochwertigem Sichtbeton stellt sich als ein komplexer Vorgang dar, der interdisziplinär bearbeitet werden muss. Die Beteiligten und die Anforderung an ihre Rolle

a. **Architekt:**

- genaue und umfängliche Darstellung
- Kenntnis und Darstellung der wahren Kosten
- QM/Planprüfung Schalplan vor Errichtung
- Bereitschaft zum offenen Fehlermanagement (Value Engineering)

b. **Bauherr:**

- kompromisslose Zustimmung bezüglich des Gestaltungsziels zum Zeitpunkt der Ausschreibung
- Sparpotential/-Pakete müssen verbindlich in der Entwurfsphase festgelegt werden, um die definierten Ziele nicht aufgeben zu müssen.
- Bereitstellung des erforderlichen Budgets inklusive entsprechender Positionen f. die Sanierung und „Fehlerreparatur“

c. **Ausführungsplanung (optional) :**

- Zielvorgabe des Architekten ist zu akzeptieren
- Organisation der Abstimmung (Statik, Schalplanung und Bewehrung, Integration der Haustechnik)
- Kenntnis und Kompetenz für die technische Beschreibung (Ausschreibung)
- Kenntnis über die Maßnahmen im Planungs- und Errichtungsprozess zur Qualitätssicherung
- Bereitschaft zum offenen Fehlermanagement (Value Engineering)

d. **Projektsteuerung (optional), Stabstellenfunktion**

- Erkennen von Kommunikationsproblemen
- Besprechungsorganisation und Moderation der Kommunikation
- Kenntnis und Kompetenz zur kooperativen Lösungsfindung und zum offenen Fehlermanagement (Value Engineering)

e. **Örtliche Bauaufsicht, Lenkungsfunktion und Qualitätssicherung auf der Baustelle**

- Besprechungsorganisation und Moderation der Kommunikation
- Kenntnis und Kompetenz zur technischen und terminlichen Lösungsfindung und zum offenen Fehlermanagement (Value Engineering)
- Kenntnis der genauen Abläufe und der praktischen Erfordernisse

f. **Auftragnehmer: General- oder Bauunternehmer**

- Seriöse Kalkulation der Sichtbetonpositionen
- Kenntnis und Kompetenz zur technischen und terminlichen Umsetzung
- Unternehmensführung die Kooperation erlaubt
- Zugriff auf handwerklich versierte Mitarbeiter (Führungspersonal und Arbeiter)
- Bereitschaft zum offenen Fehlermanagement

### 3 Technische Planung und Ausschreibungsvorbereitung

kooperative Interaktion von Statiker, Architekt/Ausführungsplanung unter Einbeziehung der ÖBA und des Betontechnologen, ist wesentlicher Erfolgsfaktor

1. **Beton:**  
Farbigkeit, Festigkeit, Abbindezeiten, Abbindetemperaturen, Jahreszeiten (= Betonwechsel)  
Festzulegen von Statik und Betontechnologie (Färbung, Rissbildungserwartung etc.). SCC oder Normalbeton – Vor- und Nachteile etc.
2. **Bewehrung:**  
Stat. Anforderung, Fließräume für den Betons, Verdichtung, Rostflecken versus verzinkter Bewehrung (Decke-Einlegearbeiten etc.),
3. **Schalung:**  
Bauteilgeometrie (Rüstung), Schalmaterial, Grenzgrößen, Temperaturbeständigkeit. –  
Materialfestlegung und Oberflächentestmuster müssen vor Ausschreibung abgewickelt werden.
4. **Einbringung:**  
Fließfähigkeit, Rüttelstrecken, Schalungsrüttler, Hindernisse/Bewehrung, Geometrie der Bauteile (Unterschnittig etc.).  
Bauteilgeometrie, Bewehrung und Einbringen hängen eng zusammen. Lösungskonzepte für komplizierte Bauteile müssen dem Grunde nach vorhanden sein
5. **Betonierabschnitte/ Arbeitsfugen**  
plausibler Planungsvorschlag (Ausschreibung) mit technischen Lösungsansätzen für Sonderwünsche wie schrägliegend (daraus folgende Unterschneidung) sind der Ausschreibung beizustellen.
6. **Trennmittel:** Welche Wechselwirkungen von 1-2-3-4 erfordern welches Trennmittel.  
Hier hat sich gezeigt das Probieren besser ist als eine Übernahme der Richtlinienvorgaben.
7. **Temperaturschutz im Sommer und Winter.**  
Betonierarbeiten können bei Sichtbeton nicht bei Minusgraden erfolgen. Einhausung und Heizung ist bei forciertem Winterbau erforderlich. Schalungs- und Betonierarbeiten bei über 35° sind gleichermaßen kritisch. Bretterschalungen müssen geschützt und der Beton vor Einbringung gekühlt werden.
8. **Schutz nach Fertigstellung:**  
nach Ausschalung muss der Beton vor Stoß, Flüssigkeiten, Schmutz und Bleistiftspuren geschützt werden. Die Trocknung darf jedoch nicht behindert werden. Materialien sind so zu wählen, dass es zu keinen Ver- oder Abfärbungen kommt.
9. **Lagerflächen**  
Baustelle (Schalung, trocken, frostfrei, stoßgesichert) ÖBA.  
Die Frage wie oft Schalungen zum Einsatz kommen kann erst gemeinsam mit der Schalungsfirma festgelegt werden. Jedenfalls ist daran zu denken dass hochwertige Schalung sollte sie wieder- verwendbar sein witterungssicher stehend gelagert werden sollte

## 4 Spezifikation von Sichtbeton

### 4.1 Regelwerke

Die seit 2009 bestehenden Regelwerke ÖN2211 (neu) und die „Richtlinie für Sichtbeton-geschalte Betonflächen“ sind taugliche Werkzeuge, um die Zielvorgaben der architektonischen Gestaltung eindeutig zu beschreiben. Den ausschreibenden Stellen sei es hier empfohlen einen Betontechnologen oder sonstig Sichtbetonexperten beratend beizuziehen.

Die Richtlinie schlägt zur durchgehenden Begleitung der Vorgänge das „Sichtbeton-Team“ vor. Gelingt es bereits vor Ausschreibung Experten in das Planungsteam zu integrieren ist gewährleistet, dass die Ausschreibung für den Sichtbeton als Vertrags- und Kalkulationsgrundlage eindeutig und mangelfrei ist.

Das Sichtbetonteam übernimmt eine bedeutende Rolle im Gesamtgeschehen. Alle Beteiligten sind im Rahmen ihrer Disziplinen sachkundig. Das Team, das eine „Ratsfunktion“ übernimmt setzt sich zusammen aus:

- Bauherrenvertretung/Projektsteuerung
- Architektenvertretung
- Auftragnehmervvertretung
- Betontechnologe für den Bauherren
- Betontechnologe für den Auftraggeber (Ausschreibungsposition)
- ÖBA Vertretung

### 4.2 Spezifikation des Sichtbetons

Die Sichtbetonbeschreibungen wurden in einer eigenen Untergruppe gefasst. Die Beschreibung der Volumen und Geometrien folgte ansonsten dem Standard LB-H für Baumeisterarbeiten mit entsprechenden Z-Positionen.

Die Sichtbetonarbeiten waren typologisch zu ordnen. Im Bauvorhaben LLC gab es sechs Typenbeschreibungen. Die Beschreibung wurde gemeinsam mit den Architekten erstellt und in Tabellenform der Ausschreibung beigelegt. Allen für die Ausschreibung benutzten Architektur Plänen wurde eindeutig ein Typ zugewiesen.

Hinzu kam die Beschreibung der Kantenausbildung, Ankerloch, Ankerlochverschluss, Holzart und Holzgüteklasse, Trennmittel und Vorbehandlung, etc. (siehe Richtlinie oder Betonforum.de)

Typenblätter für:

- |                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| (1) Lüftungsbauwerke Nord + West      | SB2 – SBQ2 |
| (2) Lüftungsbauwerk Ost               | SB2 – SBQ2 |
| (3) Kernaußenseiten + Projekträume    | SB3 – SBQ2 |
| (4) Kernaußenseiten Inlays, Café, EG  | SBS – SBQ2 |
| (5) Festsaal Plattenschalung EG       | SB3 – SBQ2 |
| (6) Festsaal Decke EG u. Projekträume | SB3 – SBQ2 |

1. Lüftungsbauwerk NORD, WEST - schiefwinkliges System	
SB2 – BSBQ 2	
Anforderungsklasse Bauteilbeschreibung	PQ 2
Abstimmung im Planungsprozess	AP 2
Gliederung der Betonfläche durch Schalungsmusterplan, die Schalelemente bzw. – stöße sind trapezförmig bzw. gemäß den diagonal verlaufenden Plattenstößen auszulegen, Schalungsmusterplan legt Größe der Schalungselemente, Ankerstellen und Betonierabschnitte fest: : Objektschalung siehe Planbeilage ZHA	GO 3
Anforderungsklasse Betonfläche	BQ 2
Pongkeit	2P
Farbtongleichmäßigkeit	FT2
Farbe helle Oberfläche durch Verwendung von ortsüblicher Gesteinskörnung und Zementsorte, Definition der Farbe erfolgt durch Referenzbauten, Musterflächen oder Herstelleremuster o.ä.	C1
Anforderung an die Bauausführung	AQ 2
Eberheitsanforderung	E1
Ausbildung von Arbeitsfugen, Verwendung von Trapezleisten, Lage siehe Planbeilage ZHA, evt. austretende Zementschlämme ist sofort zu entfernen	AF 2
Schalungselementstoß:	ES 2
Schalhautstoß (nach Schalungssystem, stumpfer Stoß)	HS 1
Kantenausbildung, scharfe Kanten sind durch Kantenschutz während Bauzeit zu schützen und gegen ausbluten abzudichten	K 2
Ankerstelle, die Kunststoffkonen sind mit Dichtscheiben zu versehen um einen Austritt von Zementmilch im Bereich der Ankerstellen zu vermeiden	AS 2
Verschluss der Ankerlöcher, Verschlussstopfen durch Faserzement	AV 2
Ausbildung von Aufhängestellen, die Aufhängestellen der Arbeitsgerüste müssen in das Ankerraster integriert werden. Die Größe und Form der Aufhängestellen für das Arbeitsgerüst muss gleich dem der Ankerstellen sein	AH 2
Anforderungsklasse Schalungsmaterial / Trennmittelsatz	SQ 2
Befestigungsart der Schalhaut	BA 1
Schalhautzustand	SZ 1
Trennmittelsatz	TE 1
Schalungssystem Trägerschalung	SY 2
Plattenschalung	T 2
Art der Schalhaut: Glatte Betonfläche, Furniersperrholz phenolharzbeschichtet, (z.B. DOKAPLEX Fa. DOKA), alternativ 3SO Platten, Verlegung und Maße siehe Planbeilagen, nach Angabe des Planers	
Trennmitteltypen, gemäß Tab. 6/1 Sichtbeton – Geschalte Betonflächen Ausgabe November 2009 Plattenschalung: Trennmittelmulsionen (Mineralöl- und Pflanzenölbasis)	
Abstandhalter: punktförmige Einzelelemente aus Faserzement	
Abnahme durch ZHA Architects	



### 4.3 Mock Up

Für das Bauvorhaben wurde ein 1:1 Mock Up mit allen kritischen Bauteilen und vollwertige Bewehrung hergestellt. Alle Wandschalungstypen, alle besonderen Geometrien wurden modellgebend umgesetzt. Die Architekten stellten die Oberflächenpläne und das 3d Modell, der Generalplaner die Bewehrungs- und Schalpläne bei. Das Musterbauwerk (Mock Up) wurde in einem beschränkt geladenen Verfahren vergeben. Der Vergabe folgte eine intensive gemeinsame Realisierungsphase, in der diverse Betonmischungen, Schalungstypen und Trennmittel als Testsettings festgelegt wurden.

Das bereits teilweise formierte Sichtbetonteam begleitet die Vorgänge.

Direkte Lernerfahrungen waren:

Die Bretterschalung vorgefertigt auf die Baustelle zu liefern war nicht zielführend, da das Zeitfenster von Herstellung Schalelement bis Schließung Schalung zu viele Risiken barf. Die Veränderung der Schaloberfläche, das Schrumpfen der Holzbretter unter entsprechendem Wärmeeinfluss, lässt sich durch Schutz nicht unterbinden. Daraus folgte, dass die Schaloberfläche auf der Baustelle hergestellt wird.



Das fertiggestellte Referenzmodell wurde umfänglich dokumentiert und bewertet und während der gesamten Bauzeit als Referenzmuster (Soll) genutzt.

Der Leistungsbereich Sichtbeton blieb nachtragsfrei.

## 5 Ausschreibung

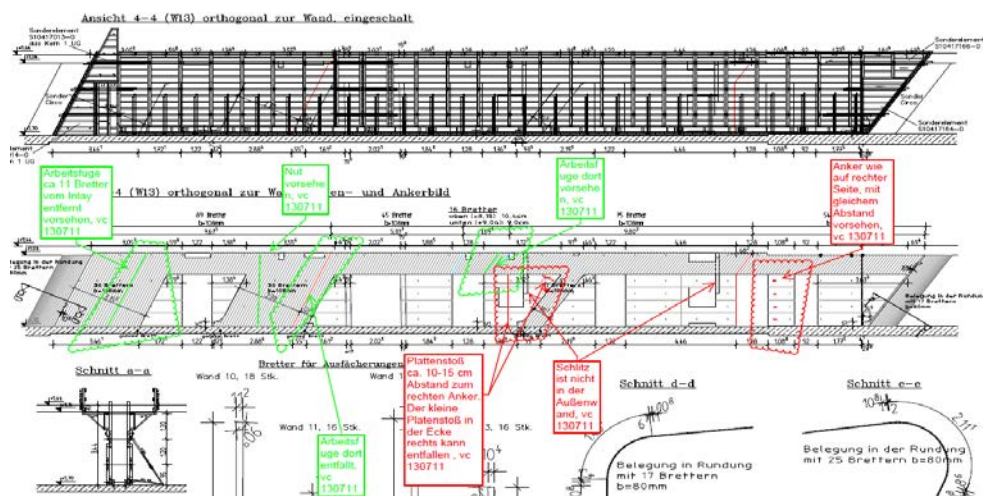
Grundsätzlich wurde nach LB-H ausgeschrieben. Für den Bereich Sichtbeton wurde eine eigene Untergruppe gebildet. Neben den Planunterlagen und der tabellarischen Beschreibung entsprechend „Richtlinie“ wurden qualitätssichernde Bedingungen und Forderungen bekannt gemacht.

- Angaben zu erstellenden Referenz- und Musterflächen, für Außentemperaturen 0°-10°, 10°-25°, 25°-35°, und jeweils für die Betonfestigkeitsklassen C25, C35 und C55
- Die Beistellung eines Betontechnologen durch den Auftragnehmer
- Die Beistellung eines Restaurators
- Schulungsanforderungen auf der Baustelle (wurde nicht umgesetzt)
- Schutzverbau nach Fertigstellung (wurde nicht umgesetzt)
- Aufwendiger Winterverbau (wurde nicht umgesetzt)

## 6 Errichtung

### 6.1 Planfreigaben Schalplan AN durch Architektenvertreter /QM

Die Schalungsplanung des Bauunternehmens wurden einerseits vom Generalplaner/APL und Statik bezüglich Wand- und Deckenöffnungen (Gebäudetechnik) und diversen Spannkopfausbildungen geprüft (Status 7) andererseits erfolgte durch den Architekturvertreter die Freigabe für die Oberflächenumsetzung (Status 6). Die ÖBA hatte die Schnittstellen zu prüfen (Status 8) Der Prüf- und Korrekturaufwand war für alle Beteiligten außergewöhnlich hoch und stellte die Frustrationstoleranz des Unternehmens auf eine harte Probe. Die Anmerkungen waren wesentlich für das Gelingen, was dazu führte, dass der Architektenvertreter nach den ersten Runden des Schreckens zum guten „Freund“ der Baufirma wurde.



Planausschnitt Schalung MEVA:  
Vincenzo Cocomero, ZHA

### 6.2 Umsetzung auf der Baustelle –

Die übergeordnete Koordinationsverantwortung wandert zur ÖBA.

- Einbindung der Betontechnologen in den gesamten Ablauf
- Beistellung von erfahrenem, lernoffenem und motiviertem Personal
- Schulung der leitenden und ausführenden Mitarbeiter (Workshops)
- Teambesprechungen mit den Arbeitern, Monitoring der Arbeitsteams (AN, ÖBA)
- Offenes Fehlermanagement, Best Practice of Value Engineering
- Herstellung von ausreichenden Musterflächen, Materialtest (Freigaben)
- QM - Check für Reparaturmaßnahmen - vor Schalungsschluss, bei Befüllung und, bei Ausschalung



Leibungen (Unterschnitt) Sanierungsfall

Auffächerung der Brettschalung

## 7 Abnahme, Aufgabe des Sichtbetonteams – Fehler passieren

- Vertreter aller Beteiligten Stakeholder sind im Sichtbetonteam vertreten
- Musterbereitstellung: Im Sichtbeton wird festgelegt wann Muster hergestellt werden müssen. Musterbeurteilung Korrekturen oder Freigabe der Rezepturen.
- Das Team begleitet, wenn erforderlich die Schließung der Schalungen mit einer finalen Sichtkontrolle.
- Mängelfeststellung, Mängelursache nach Ausschalung
- Lösungen/Vorgangsweise zur Mangelbehebung
- Eventuelle Abbruchentscheidungen (andere Lösungen sind jedoch zielführender, hat gegebenenfalls meist nur „erzieherischen“ Charakter)

## 8 Risikofaktoren

### Bauherr:

- Der Bauherr als Gesellschaft, in der die Bauabwicklungsaufgabe nicht eindeutig geregelt ist. Akkordierten Ziele werden aufgeweicht. Führungswettbewerb oder differente firmen- oder parteipolitische Interessen generieren Mehrgleisigkeit, die im Planungs- und Bauprozess nicht aufgefangen werden kann. Verlust von Motivation, Qualität und Zeit ist die Folge. Aktives Nachtrags, Claim Management und Mehrkosten sind vorprogrammiert

### Externe Faktoren (nicht steuerbar)

- Klima und Wetterereignisse: Regen, Schnee, Sturm, Kälte, Frost und Hitze
- Konkurse von anderer Baubeteiligten, die den Zeitplan wesentlich stören würden
- Politische oder markttechnische Verwerfungen, Wirtschafts- und Energiekrisen  
*Anm.: Die Wirtschaftskrise 2008 war für das LLC ein Glücksfall hinsichtlich Preisgestaltung und Finanzierungskosten.*

### Architektur und Planung, Kompetenzmangel

- Fehlendes Wissen über die erforderlichen Leistungen und mangelnde technische Kompetenz erzeugen Unschärfe insbesondere in der Ausschreibung
- Das erforderliche QM (sorgfältige Planprüfung) sprengt in den meisten Fällen den bezahlten Aufwand des Auftrages (Honorarnachlass) und wird nicht entsprechend umgesetzt
- Fortbildungsresistent in bautechnischen Belangen

### Baufirma, Erfahrungsmangel

- Werkstoffverhalten, technische und organisatorische Abwicklung
- Fachpersonalmangel, Leih- und Fremdarbeiter
- Team Building in den eigenen Reihen und fehlende interdisziplinärer Offenheit zu den Schnittstellengewerken. Deutliche Kommunikationsdefizite mit den eigenen Mitarbeitern

## 9 Erfolgsfaktoren

Wesentlich für ein Gelingen sind:

- a) Sach- und fachkompetenter Bauherrenvertreter (LLC, öffentliche Hand)  
Qualitätsmerkmal war im Fall LLC Kommunikations- und Vermittlungskompetenz.  
Projektsteuerung und Bauherr + ÖBA gelang ein erfolgreiches Konfliktmanagement.  
Gelebtes Value Engineering war ein wesentlicher Bestandteil des Problemlösungsprozesses
- b) Abgleich/Akkordierung der Ziele  
Alle Beteiligten müssen bildlich vor Augen haben, was man gemeinsam erreichen will.  
Es muss im Bauvorhaben Personen geben, die die Vision über die gesamte Bauzeit lebendig halten. Beim LLC waren es der Architektenvertreter im Schulterschluss mit dem Projektleiterteam des Generalplaners und der Bauherr. Die ausführende Firma zog mit.
- c) Offener Umgang mit Mängeln und Problemen  
Dies muss Teil der Grundvereinbarung sein. Fehlergenerierung liegen in der Natur von komplexen Vorgängen. Man kann so gut wie alles „reparieren“, je früher Fehler erkannt und offen angesprochen werden desto zeitschonender lässt sich reparieren
- d) Teambuilding,  
der Aufbau von Vertrauen zwischen allen Beteiligten.  
Kompetenz, Engagement, Wort- und Vertragstreue sind letztendlich der „Team-Kitt“ der eine Realisierung auch unter erschwerten Bedingungen ermöglicht. Es scheint, dass extreme Herausforderungen dem Teamgeist und der Kooperationsbereitschaft dienlich sind

## **Experimentelle Charakterisierung der Schalhaut Beton Interaktion**

Unterberger, S.H.<sup>1</sup>, Saxer, A.<sup>1</sup>, Reinisch, A.<sup>2</sup>, Meinschad, Th.<sup>2</sup> und Lackner, R.<sup>1</sup>

1... Material Technology Innsbruck, University of Innsbruck,

Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck, Austria

2... Doka Industrie GmbH

Josef Umdasch Platz 1, 3300 Amstetten

### **Kurzfassung**

Die Anforderungen an Betonoberflächen reichen von mechanischen hin zu optischen Eigenschaften und beeinflussen damit die Dauerhaftigkeit und die Ästhetik der Bauwerke. Um diese Eigenschaften gezielt herstellen zu können, wurden in den letzten Jahren im Bereich der Betontechnologie und Schaltechnik neue Materialien entwickelt und eingesetzt. Da die Wechselwirkung von Schalhaut und zementösem Material und die daraus resultierenden Eigenschaften der Übergangszone von zentraler Bedeutung sind, wurde ein experimentelles Programm entwickelt um diese Interaktion zu untersuchen.

Für die Studie wurden einerseits der Einfluss einer Mörtelmischung auf unterschiedliche Schalhautmaterialien und andererseits der Einfluss von unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit, wie z.B.: Rauheit untersucht.

Für beide Untersuchungen wurde für die Bestimmung des mechanischen Verbunds ein Haftzugversuch entwickelt, bei dem mittels einer Universalprüfmaschine Proben mit einem Durchmesser der Kontaktfläche von 50 mm geprüft werden. Schalhäute und Mörtelproben werden mittels Methoden der Werkstoffanalytik untersucht. Diese Untersuchung umfasst die Konfokale Lichtmikroskopie (KM), Rasterelektronenmikroskopie (REM), die Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDS) und die Infrarotspektroskopie (FTIR).

Die Ergebnisse liefern einen Einblick in den Einfluss der Schalhautmaterialien auf die oberflächennahen Schichten des eingesetzten Mörtels. Zusätzlich wurde eine physikalische und chemische Beeinflussung durch die verwendeten Materialien und ihre Topographie festgestellt werden.

### **Material**

In dieser Studie wurden die folgenden sieben Schalhautmaterialien untersucht:

1. Polypropylene (PP)
2. Phenolharz A (PHA)
3. Phenolharz B (PHB)
4. Harnstoff-Formaldehyd-Harz (UF)
5. Polyurethan (PU)
6. Unbeschichtete Holzschalung (FH)
7. Melamin-Harz(MH)

Diese Materialien unterscheiden sich in ihrer chemischen Zusammensetzung und reagieren dementsprechend unterschiedlich mit dem zementösen Material.

Um etwaige Einflüsse von Zusatzmitteln ausschließen zu können, wurde für die Versuche ein Mörtel mit  $w/b=0,8$ , Zementgehalt =  $380 \text{ kg/m}^3$  mit einem CEM II A-M (S-L) 42,5 R definiert.

## Ergebnisse und Diskussion

Die untersuchten Schalhäute besitzen unterschiedliche Eigenschaften und wechselwirken auf unterschiedlichste Art und Weise mit dem zementösen Material. Hier sind Polarität, Saugfähigkeit, chemische und mechanische Widerstandsfähigkeit die Hauptunterscheidungspunkte.

Bei den gemessenen Abzugsspannungen (siehe Abbildung 1) sind deutliche Unterschiede zu erkennen. Beim Abzug von der PP-Schalhaut wurde die höchste Abzugsspannung mit 0,157 N/mm<sup>2</sup> gemessen. Die Abzugsspannung bei PHA ist 0,078 N/mm<sup>2</sup> hin zu keiner messbaren Spannung bei PU, UF und MH.

Bei den Phenolharzschalhäuten PHA und PHB wird eine chemische Reaktivität des eingesetzten Materials beobachtet. PHB reagiert stärker, was sich in der nicht messbaren Abzugsspannung des ersten Abzugversuchs bei PHB widerspiegelt.

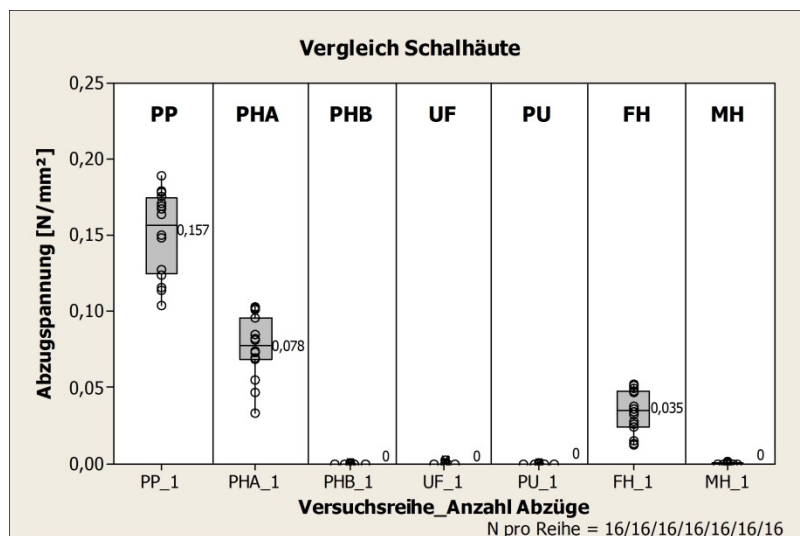


Abbildung 1: Vergleich der Abzugsspannungen.

Die mechanische Widerstandsfähigkeit wird durch die Dichte der Kratzer widerspiegelt. Hier sind PU und MH besonders kratzfest. PP und FH haben eine sehr weiche Oberfläche und werden im Laufe mehrerer Abzugversuche verändert.

Durch die Materialeigenschaften der Schalhäute lässt sich der Sauerstoffanstieg an den jeweiligen Oberflächen erklären. PP hat eine geringere Kratzfestigkeit und eine stärkere Wechselwirkung mit dem zementösen Material, da die Oberfläche geschlossen und Dicht ist, kann sie gut gereinigt werden. Dadurch werden geringere Mörtelrückstände detektiert. An den Schalhäuten PHA, PHB und FH wurde die höchsten Sauerstoffzunahmen gemessen. Bei PHA und PHB wird dieser Anstieg durch die ablaufende chemische Reaktion und die dadurch entstandenen Reaktionsprodukte verursacht. Bei FH können sich Mörtelreste großflächig an die raue fasrige Struktur anlegen. Bei der UF-Schalhaut wird der geringere Anstieg durch schwächere Wechselwirkung des Harzes mit dem Mörtel erklärt. Der Sauerstoffgehalt über 10 at-% wird durch das Verfüllen der Risse, welche durch das Quellen auftreten hervorgerufen. An PU und MH konnten nur kleinste Mengen an Mörtelrückständen nachgewiesen werden. Da auch nach zehn Abzügen der Sauerstoffgehalt nur um 2 at-% bis 3,5 at-% angestiegen ist, sind diese beiden Schalhäute als sehr stabil einzustufen.

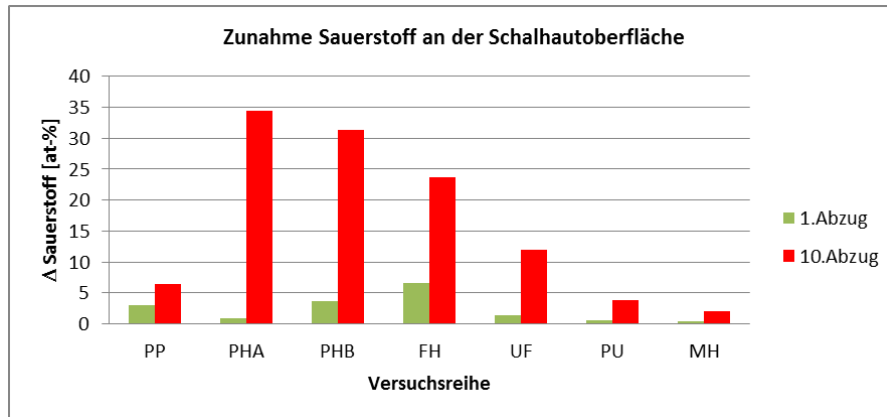


Abbildung 2: Zunahme des Sauerstoffs an der Schalhautoberfläche.

## Zusammenfassung

Mittels dieser Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die untersuchten Schalhauttypen bzw. Materialien mit Beton auf unterschiedliche Art und Weise interagieren. Hier wird klassisch zwischen saugenden und nicht saugenden Schalhäuten unterschieden. Die nicht saugenden besitzen eine dichte Kunststoffbeschichtung, welche aufgrund ihrer mechanischen und chemischen Eigenschaften mit dem zementösen Material interagieren. Saugende Schalhäute besitzen eine weniger dichte, jedoch ebenfalls schützende Beschichtung, die einen starken Einfluss auf die Wechselwirkung der Schalhaut mit dem zementösen Material hat.

## Kontakt

Mag. Seraphin Unterberger  
 Universität Innsbruck, AB Materialtechnologie  
[seraphin.unterberger@uibk.ac.at](mailto:seraphin.unterberger@uibk.ac.at)

Dr. Alexander Reinisch  
 Doka Industrie GmbH  
[Alexander.Reinisch@doka.com](mailto:Alexander.Reinisch@doka.com)

# Entwicklung eines Premix zur Herstellung von UHPC

Philipp Hadl<sup>1)</sup>, Nguyen Viet Tue<sup>1)</sup>, Rainer Staretschek<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Institut für Betonbau, Technische Universität Graz

<sup>2)</sup>RS Rohstoffhandel GmbH

## 1 Einleitung

In den letzten Jahren wurde auf nationaler und internationaler Ebene intensiv an der Entwicklung von Betonen mit immer höheren Druckfestigkeiten geforscht. Ultrahochfester Beton (UHPC) mit Druckfestigkeiten von bis zu 200 MPa stellt in diesem Zusammenhang den aktuellen Entwicklungsstand dar. Die hohe Festigkeit des UHPC ist im Wesentlichen auf eine granulometrische Optimierung der Packungsdichte und die Reduktion des Wasser-Bindemittel-Verhältnisses zurückzuführen.

Neben der Optimierung der Betonzusammensetzung standen vor allem die Beschreibung der mechanischen Eigenschaften des UHPC und die Entwicklung von Bemessungsregeln in den letzten Jahren im Vordergrund. Durch die vorangegangenen Forschungsarbeiten können die wesentliche Eigenschaften des UHPC und das mechanische Verhalten als bekannt betrachtet werden. Trotz der außergewöhnlichen mechanischen Eigenschaften und der ausgezeichneten Dauerhaftigkeitseigenschaften kam UHPC bisher hauptsächlich in Form von Pilotprojekten zum Einsatz. Die Ursachen hierfür sind neben fehlender Erfahrung, sowohl bei Planern als auch bei Ausführenden, die hohen Kosten zufolge der Ausgangsmaterialien und der Herstellungstechnologie. Das vorliegende Forschungsprojekt beschäftigt sich mit der Entwicklung eines kostengünstigen Premix aus UHPC.

## 2 Premix

Für die Herstellung von UHPC werden viele Feinanteile benötigt, sodass neben Zement auch die Verwendung von Quarzmehl und Mikrosilika erforderlich ist. Weiters werden hochdosierte Fließmittel auf Basis von Polycarboxylatethern, qualitativ hochwertige Zuschlagstoffe und Stahlfasern zur Erhöhung der Duktilität des Werkstoffes benötigt. Die Feinanteile Mikrosilika, Quarzmehl und Zement müssen trocken gelagert werden, sodass in der Regel mehrere Silos zur Materiallagerung benötigt werden. Vorhandene Premix bringen den Nachteil mit sich, dass sie neben den Füllstoffen auch Zement und häufig sogar Zuschlagstoffe enthalten. Die gesamten Materialien werden oft über weite Strecken transportiert, wodurch hohe Transportkosten anfallen.

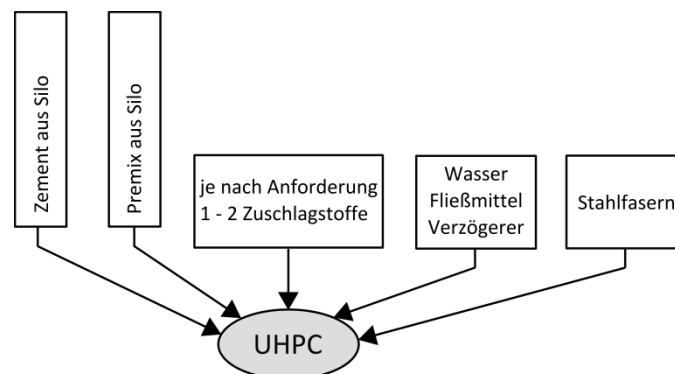


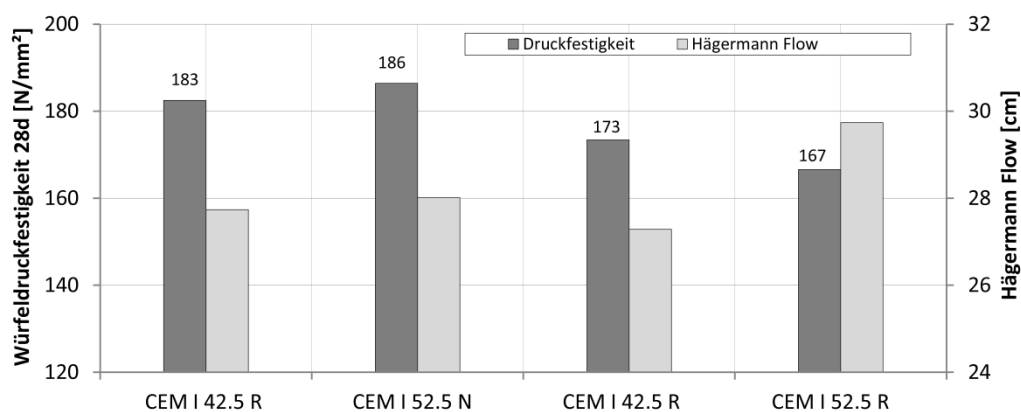
Abbildung 1: Ausgangsstoffe von UHPC mit dem vorgestellten Premix



Der vorgestellte Premix enthält Mikrosilika und zwei verschiedene Quarzmehle und ist als Silo- oder Sackware erhältlich. Verwendet wird der serienmäßig im Werk vorhandene Zement aus dem Silo. Es sollten nur hochwertige Zemente verwendet werden, wobei insbesondere auf den Wasseranspruch zu achten ist. Dabei haben sich besonders C<sub>3</sub>A-freie Zemente bewährt.

Die Feinststoffe werden vorab im Premix homogenisiert, sodass die Verwendung von Mischern mit geringer Mischintensität möglich ist. Eine Abstimmung der Betonrezeptur auf die verwendete Zementart und den vorhandenen Werksmischer ist erforderlich. Weiters werden für die Herstellung je nach Anforderung ein bis zwei Zuschlagstoffe benötigt. Diese können wie herkömmliche Gesteinskörnungen gelagert werden.

Vorhandene Forschungsergebnisse zeigen, dass mit dem Premix die Herstellung von UHPC möglich ist. Abbildung 2 zeigt den Einfluss unterschiedlicher Zementarten auf die Würfeldruckfestigkeit (Kantenlänge 100 mm) und Fließfähigkeit von selbstverdichtendem UHPC mit 2 Vol.-% Stahlfasern (Mittel aus 4 Proben). Dabei ist ersichtlich, dass mit unterschiedlichen Portlandzementen zielsicher Festigkeiten > 160 N/mm<sup>2</sup> erreicht werden. Dem Einfluss des unterschiedlichen Wasseranspruchs der Zemente wurde durch Anpassung des Leimvolumens Rechnung getragen.



**Abbildung 2: Einfluss der Zementart auf die Druckfestigkeit und die Fließfähigkeit von UHPC**

Durch die Verwendung des lokal verfügbaren Zementes und des Premix wird die Herstellung von UHPC erleichtert und die Kosten deutlich gesenkt. Weiters ist die einfache Herstellung von Hochleistungsbeton möglich. Weitere Ergebnisse werden am Kolloquium präsentiert.

## **DONAUWELLE – freigeformte Grillmöbel aus dünnwandigem Beton**

Benjamin Kromoser, [benjamin.kromoser@tuwien.ac.at](mailto:benjamin.kromoser@tuwien.ac.at)

Martin Ritt, [ritt.martin@gmx.at](mailto:ritt.martin@gmx.at)

Im Rahmen des „Concrete Design Awards“, eines Entwurfswettbewerbes zur Neugestaltung der Grillmöbel auf der Donauinsel, entstand im Frühjahr 2013 der Entwurf zur Grillstation „Donauwelle“. Nun konnte das Projekt im ersten Halbjahr 2014 erfolgreich im Auftrag der MA45 unter Zusammenarbeit von Öhlinger + Partner Ziviltechniker Ges.m.b.H. und des ausführenden Betonfertigteilerherstellers SW Umwelttechnik Österreich GmbH umgesetzt werden. Das Projekt verbindet eine zeitgemäße Entwurfsidee mit einer Anwendungsmöglichkeit der innovativen Baustoffkombination Textilbeton.

Grundgedanke des Entwurfs ist die archaische Urform der Lagerfeuerstelle am Boden. Die Idee des Feuers als zentrales Element wird wieder aufgegriffen. Rund um diesen zentralen Punkt bildet sich eine Gruppe von 8 bis 10 Personen aus, allesamt mit Blickrichtung zur Feuerstelle. Gemeinschaft als oberstes Gestaltungsprinzip. In dem Projekt DONAUWELLE werden Geschichte und Tradition mit den heutigen Ansprüchen nach Funktionalität, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit verschränkt.

Vergleichsweise wurden zwei Varianten des Tischelements ausgeführt. Einerseits wurde eine konventionell mit Stabstahl bewehrte Variante aufgeführt und andererseits wurde eine schlankere Variante mit Glasfasertextilien vom Typ Soligrad® Q140-GEP-25 hergestellt. Die Vorteile der textilen Bewehrung liegen in den geringen Abmessungen der hochfesten Fasern. Diese liegen meist im Millimeterbereich und sind somit mindestens eine Größenordnung unter den Abmessungen einer konventionellen Stahlbewehrung. Dadurch verringern sich die örtlichen Verbundspannungen was nur sehr geringe Betondeckungen von wenigen Millimetern erforderlich macht. Zusätzlich sind die Fasern korrosionsunempfindlich. In Folge dessen lassen sich Bauteile und Bauwerke aus Beton mit bisher unerreichter Leistungsfähigkeit und Schlankheit realisieren. Durch die Möglichkeit einer nachträglichen Tränkung der Textilbewehrungsmatten können diese in Form gebracht und anschließend in der Form verfestigt werden. Am Beispiel der Donauwelle wurden die Textilbewehrungsmatten zu Winkeln geformt und anschließen zur Formstabilisierung mit Epoxidharz getränkt und ausgehärtet (siehe Abbildung 1).

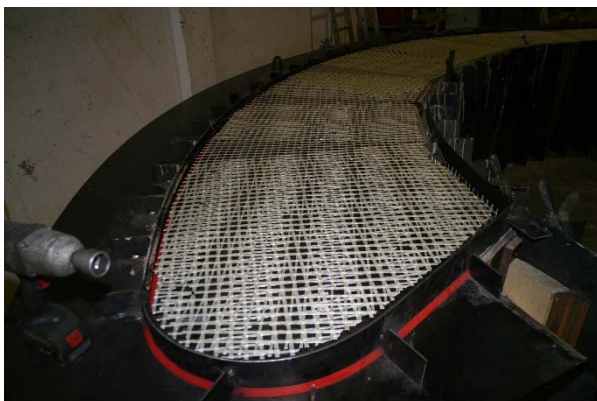


Abbildung 1 Fertig eingebaute Textilbewehrung (links) und Transport des Tischelementes (rechts)

Für die Herstellung wurde eine speziell angefertigte Schalung von SW Umwelttechnik Österreich GmbH entwickelt die eine sehr hohe Produktionsgüte möglich macht. Die Tisch- sowie Bankoberflächen wurden nachträglich geschliffen und mit SikaGard versiegelt. Dies gewährt eine einfache Reinigung sowie eine dauerhafte optisch ansprechende Oberfläche der Möbel.

Der Transport und Montage der Grillstationen war aufgrund der Abmessungen und des geringen Tischgewichts mit einem LKW mit Hebezeug problemlos möglich (siehe Abbildung 1).

Abbildung 2 zeigt die erste fertig gestellte Grillstation auf der Donauinsel im 22. Bezirk bei Kilometer 9,9 stromaufwärts des Wehr 1.



Abbildung 2 Fertig gestellte Grillstation mit zwei Donauwellen



# Vom Studentenwettbewerb zur prototypischen Anwendung – Entwicklung einer frei geformten Schwimminsel aus textilbewehrtem Beton

DI Franz Forstlechner, TU-Graz, Institut für Tragwerksentwurf

## Zusammenfassung:

Der Vortrag beschreibt den Entwicklungsprozess einer frei geformten und überaus leichten Schwimminsel aus Beton, die in einer innovativen Sandwichbauweise mit einem Kern aus extrudiertem Polystyrol und einer dünnen Hülle aus Textilbeton realisiert wurde. Das Projekt nahm seinen Ausgang in einem interdisziplinären Studentenwettbewerb und wurde während des gesamten Bearbeitungszeitraumes durch die Architektur- und Bauingenieur-Studenten der Gewinnerprojekte begleitet und vorangetrieben. Die schwierigen Randbedingungen aufgrund der Lage der Insel in einem Hochwasserentlastungsgerinne konnten erst durch eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Bauherrn, der Magistratsabteilung 45 der Stadt Wien, dem Institut für Tragwerksentwurf der TU Graz und dem Ingenieurbüro VASKO + Partner aus Wien gelöst werden, und machten den Einsatz zahlreicher innovativer Entwicklungen erforderlich. Der experimentelle Charakter des Bauwerks verlangte von Bauherr, Planern und beteiligten Firmen viel Einsatz und Geduld ab, aber nach einem Entwicklungszeitraum von fast zwei Jahren mit umfangreichen Voruntersuchungen konnte die Schwimminsel im Dezember 2013 fertiggestellt und zu Wasser gelassen werden.

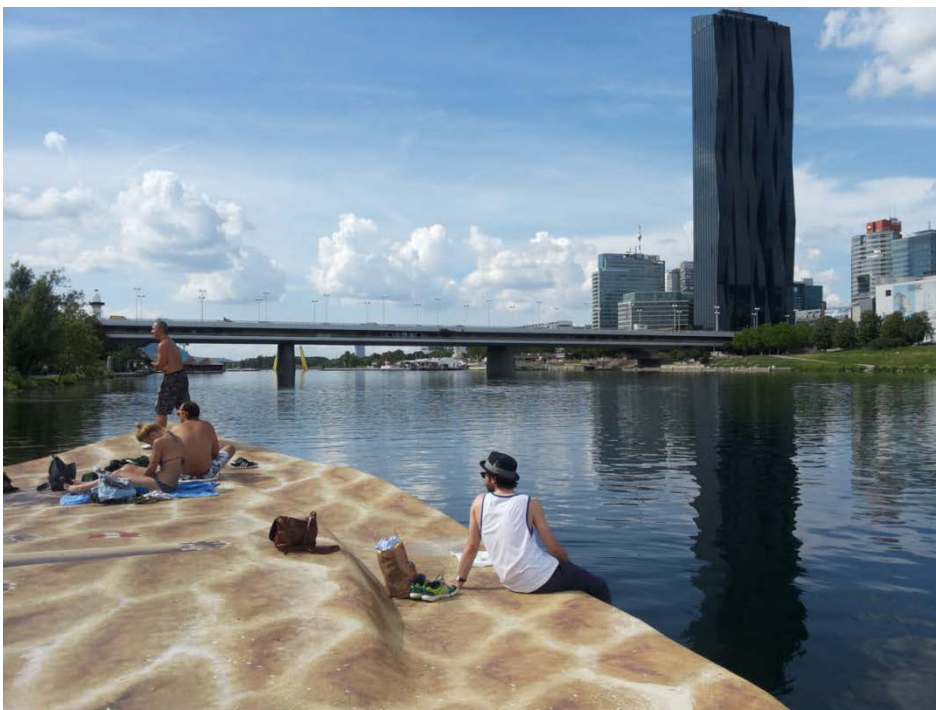


Bild: Schwimminsel Neue Donau – Sommer 2014.

# Umsetzung von Prototypen: Fachwissen, Kommunikation und Ausführung

Ing. Alexander Fock, Wibeba, Städtischer Tiefbau, Bauleitung

## Pilotprojekt Schwimminsel



Vorweg möchte ich mich bei allen Projektbeteiligten insbesondere beim Zementverein, bei der TU-Graz, beim Büro Vasko+Partner und natürlich bei der Stadt Wien in Person der MA45, die das ganze Pilotprojekt erst ermöglicht haben bedanken.

Es war ein langer Weg vom Entwurf, über die Entwicklung zum Pilotprojekt bis zur tatsächlichen Ausführung der Schwimminsel. Der positive Abschluss war nur durch die laufende intensive Kommunikation aller Projektbeteiligten möglich.

Die MA45 ist an unser Unternehmen herangetreten, die in einem Architekturwettbewerb entworfene Schwimminsel umzusetzen. In vielen Vorbesprechungen wurde ein Konzept für die Umsetzung entwickelt. Letztendlich wurde eine Variante bestehend aus einer 3-lagigen Spritzbeton Schicht mit einer Gesamtdicke von 4-5cm in die 2 Lagen Carbonarmierung eingebettet werden gewählt. Da Arbeitsfugen vermieden werden sollten, kam nur eine Ausführung in einem Arbeitsgang in Frage. Um einige offene Fragen, wie Rückprall und Haftung des Spritzmörtels auf dem XPS-Körper sowie Verarbeitung der Carbonarmierung bei gekrümmten Flächen zu klären, entschloss man sich ein Musterstück zu fertigen.



Das Musterstück, das sämtliche Problemstellen wie z.B. Rundungen, Kanten usw. aufwies, wurde in Anwesenheit aller Projektbeteiligten am Lagerplatz unseres Unternehmens

aufgebaut und gefertigt. Hierbei stellte sich heraus, dass die Haftung des Spritzmörtels sowie die Verarbeitung der Carbonarmierung zeitlich und technisch kein Problem darstellte.

Nach Freigabe der gewählten Ausführungsvariante durch alle Beteiligten wurde ein Bauzeitplan bzw. Ablaufplan erstellt.



Die XPS Rohlinge wurden von der MA45 zur Verfügung gestellt und direkt auf die Baustelle auf der Donauinsel geliefert. Der Zusammenbau der vielen Einzelteile gestaltete sich etwas schwieriger als erwartet da einige Anpassungsarbeiten vor Ort durchgeführt werden mussten. Nach Einbau und Verklebung des bauseits beigestellten Stahlskelets wurde der XPS-Körper fertig zusammengebaut und von der MA45 auf Stahlböcke verhoeben.



Nun konnten die Arbeiten mit 2 parallel arbeitenden Spritzbetonmannschaften, die aus unserer konzern-eigenen Fachabteilung, der Porr Grundbau gestellt wurden, zu je 5 Mann sowie eine Nachbehandlungsmannschaft mit 4 Mann begonnen. Hier wurden nun die 2 Lagen Carbonarmierung nass in nass in die 3 Lagen kunststoffmodifizierte Spritzmörtel eingebracht. Die dritte Schicht (Deckschicht) wurde dann von der

Nachbehandlungsmannschaft endbehandelt. So konnten die Arbeiten spät abends fertiggestellt werden.



Nach Ablauf der Austrocknungszeit von ca. 2 Wochen wurde die Schwimminsel von der MA45 zu Wasser gelassen und zu ihrer endgültigen Anlegestelle eingeschwommen, an den Stegen befestigt und verseilt.

Abschließend möchte ich mich nochmal bei allen Projektbeteiligten bedanken die mit uns den „Sprung ins kalte Wasser“ gewagt haben und das Pilotprojekt Schwimminsel damit erst ermöglicht haben.

# Zukunftsvisionen des Prototyps

DI Lothar Heinrich, Vasko+Partner Ingenieure

Der Prototyp (vom griechischen protos „der Erste“ und typos „Urbild, Vorbild“) der Schwimminsel aus Beton war ein gelungenes Experiment und wurde am vierten Dezember 2013 zu Wasser gelassen.

Eine schwimmende, frei geformte Insel aus Beton, das war die Aufgabe.

Die Entwicklung war von vielfältigen und treffenden Ideen getragen, die Forschung im universitären Bereich bestätigte die planlichen Überlegungen.

Was waren die Überlegungen?

Diese entwickelten sich logistisch aus der Aufgabenstellung, welche analytisch betrachtet folgende, definierte Lösungen brachte. Betonboote sind bekannt. Das erste Betonboot wurde bereits 1848 von Joseph-Louis Lambot hergestellt und 1855 auf der Weltausstellung in Paris gezeigt.

Gesucht ist jedoch kein Boot, sondern eine schwimmende geschlossene Betonschale.

Sogleich denkt man an ein ausgeblasenes Ei, nur aus Beton. Das könnte man leicht mit einer pneumatischen Schalung herstellen, den Beton aufbringen und es schwimmt.

Nun soll die Insel eine freie Form erhalten, zum Beispiel wie ein aus dem Wasser ragender, zum Verweilen einladender eiszeitlicher Stein, aber als schwimmende, geschlossene Betonschale.

Wie jedoch die Betonschale erzeugen? In eine Form gießen oder auf eine Form spachteln oder spritzen. Hier kommt die Überlegung der Schwimmsicherheit zu Hilfe. Die hohle Betonschale könnte durch Risse oder Schaden bei Hochwasser oder Eisstoß undicht werden und sinken. Ein sehr leichter, das Hohlräumvolumen füllender Stoff erfüllt sowohl formgebende wie auch den Auftrieb bringende Funktion. Als geeignetes Material bot sich extrudiertes Polystyrol an.

- Ausreichende mechanische Festigkeit
- keine Wasseraufnahme
- frei formbar
- der ideale Auftriebskörper und
- ist der Haftgrund für Spritzbeton

Die Dicke der Betonschale konnte bereits aus Erfahrungswerten für Spritzbeton ermittelt werden, das Material Silikatbeton mit textiler Bewehrung aus Carbon ist bekannt und wurde mit den gewählten Produkten im Labor getestet.

Mit der Methode Spritzbeton waren die handwerklichen Voraussetzungen erfüllt, und mit den bekannten im Labor getesteten Materialien wurden Standardprodukte zur Anwendung gebracht.

Wie jedoch ist die Herstellung?

Handwerklich wird Spritzbeton auf senkrechten wie waagrechten Flächen und über Kopf in einem Zug hergestellt. Im Tunnelbau auf den aufgebohrten Wänden, auf Böschungen als Hangsicherung. Spritzputz auf Wänden und Decken aus Ziegel oder Beton.

Für die Betonschale der Schwimminsel eignet sich der frei geformte Polystyrolkörper. Jedoch ist das Polystyrol in sich nicht tragfähig. Es bedarf eines tragenden Skeletts aus einer einfachen Stahlrohrkonstruktion, welche alle Montagelasten aufnimmt und auf Böcken so gelagert wird, dass das Spritzen in einem Zug wie auch das Einheben ins Wasser ermöglicht werden kann.



Der wesentliche Vorteil des Gerippes aus Stahl ist jedoch die Verheftung der Schwimmsel am Ufer, wenn sie im Wasser liegt. Die Anbindepunkte für die Halteseile, wie auch für die abstützenden Schorbäume sind an der Stahlkonstruktion, in die die Lasten aus Strömung, Hochwasser und Eisstoß eingeleitet werden. Die Betonschale ist für die Aufnahme von konzentrierten Lasten empfindlich, sie übernimmt das Schwimmen.

Und der Prototyp schwimmt, nicht mehr betongrau sondern lustig bemalt und mit den ersten eingekratzten Liebesschwüren. Ich habe beobachtet, dass die Farbe den schützenden Effekt einer Beschichtung übernommen hat und die Möwen sich nicht mehr wie auf der betongrauen, einem Fels ähnlichen Fläche niederlassen.

Die Größe mit einer Länge von 14,5 m und einer Breite von 5,5 m ist gut umsetzbar. Das Gewicht mit 16 Tonnen ist problemlos zu heben, für die Stahlkonstruktion und der Lagerung auf den Böcken noch ausführbar. Das Spritzen kann in einem 16 Stunden Tag erfolgen. Damit stellt der Prototyp die machbare Größe dar. Für die Benützung ist die Größe der Fläche bequem. Zukünftige Inseln können auch kleiner sein, wer träumt nicht von einer eigenen Insel, auch wenn diese auf der Neuen Donau ist.

Die poetische Vision von natürlich erscheinenden Inseln, welche zum Verweilen und zum Sonnen einladen, kann auf der Neuen Donau Realität werden.

Darüber hinaus ist die Weiterentwicklung und Verbesserung des Prototyps durch die Forschung möglich. Silikatbetone mit textiler Bewehrung aus Carbon sind die Zukunft für Konstruktionen wie die Schwimmsel. Diese Materialien haben sich bewährt. Verbesserungen im Detail können an der Stahlkonstruktion, den Schorbäumen, der Verheftung vorgenommen werden. Technisch gilt es eine wirtschaftliche Lösung für das Fräsen großvolumiger Polystyrolteile zu finden. So kann sich der Prototyp zur Serienreife mit verschiedenen gestalteten Modellen entwickeln.

Mit Grundankern können die Inseln frei im Wasser schwimmen zu lassen und das Bild einer wirklichen Wasserlandschaft zu erzeugen.

Neben der erprobten Ausführung sollte weiteren Experimenten, wie der Verwendung von Ultrahochfesten Betonen und Glasfasern Raum gegeben werden.

Weitere Ansätze aus der Betonforschung sind:

- Ultra Hochfeste Betone, mit Textilien oder Glasfasern bewehrt, in Blechstärke fester als Stahl als Hülle
- Betonmischungen mit Harzen zur Selbstheilung bei Entstehung von Rissen
- In Beton eingemischte Bakterien, die bei Wassereindrang Risse verklebenden Kalk ausscheiden
- eingemischte Mikrochips, welche vielfältige Informationen aufzeichnen können
- beimischen von Titanoxid mit dem Lotuseffekt zur Selbstreinigung

Die Vision des Prototyps, natürlich wirkende Plätze auf der Neuen Donau zur Entspannung für die Stadtmenschen zu schaffen, ist eine poetische und gleichzeitig pragmatische.

Vasko + Partner, Lothar Heinrich 24.10.2014

# Kollo quium 2014

Forschung & Entwicklung für Zement und Beton

Eingereichte Beiträge  
ohne Vortrag



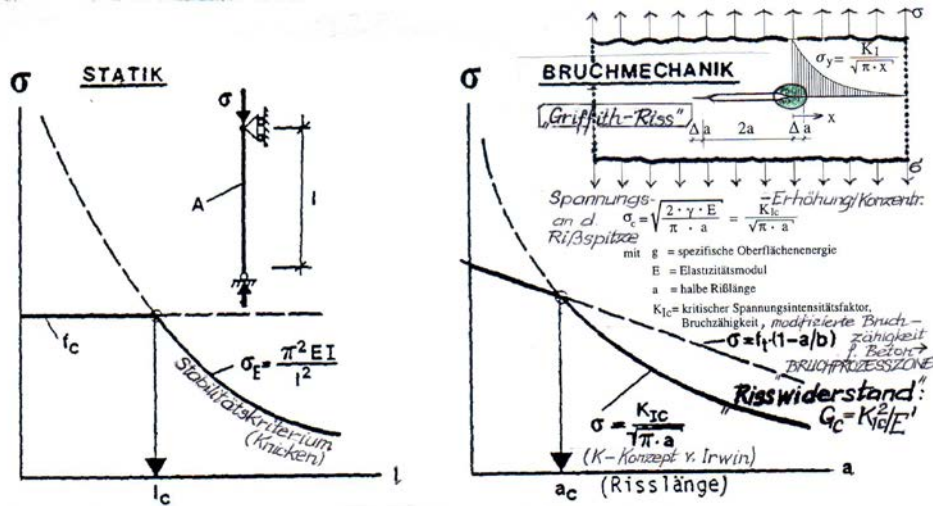
## **Beitrag von „hochduktilen“ SHCC-Beton zur erdbebensicheren Planung von (Bau-) Strukturen bzw. Ertüchtigung von Bestandsbauwerken- bruchmechanisch bewertet**

Ao.Univ.Prof. i.R. Baurat h.c. DDr. Elmer Bölskey  
Univ. Ass. Prof. Ing. Dr. techn. Heinrich Bruckner  
Dipl. Ing. Alexander Prantl

Bei der EUROCODE 8 – konformen statischen Berechnung („Kapazitätsbemessung“) und baulichen Durchbildung erdbebengefährdeter (Hochbau-) Strukturen wird sowohl aus konstruktiven als auch aus wirtschaftlichen Optimierungsüberlegungen prinzipiell angestrebt der (durch Erdbebenbeanspruchung; „AKTION“) eingebrachten „tektonische“ (Bewegungs-)Energie durch plastisch-zäh Bauteilverformungen mit begrenzter Rissbreite (Werkstoff-Widerstand/„REAKTION“) zuverlässig zu dissipieren (zu zerstreuen) [1], [2].

Diese, für die o.a. Zerlegung/Zerstreuung bzw. „Energiedissipation“ speziell konstruierte (bzw. bei Bestandsbauwerken [8] nachträglich ausgebildete) duktile Tragelemente (z.B. Stützen- Rahmen- bzw. „Andreas-Kreuz“-Tragmechanismen mit Bügel- bzw. Faserbeton- Umschnürung...) sollten plastifizierende Fließ (Gelenk)-Verformungen/Deformationen erleiden können, ohne übermäßige seitliche Verschiebungen, welche zu instabilen (Bruch- bzw. Riss-)Versagen des Bauwerks führen könnten [3].

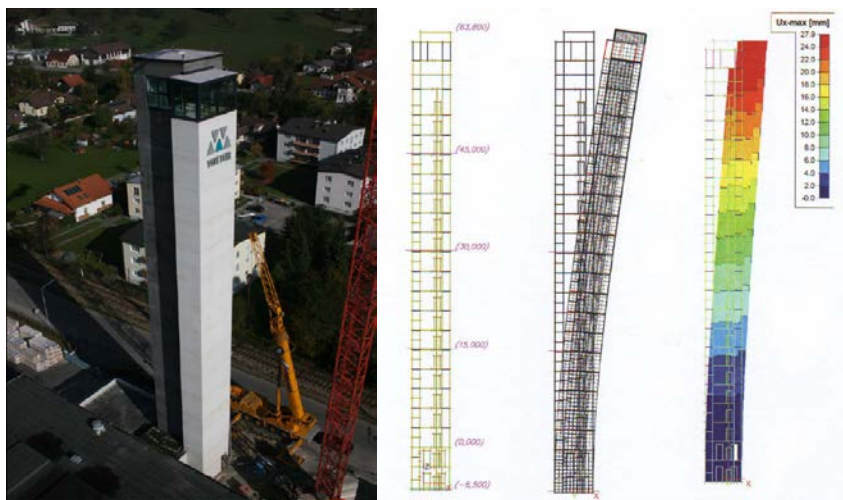
A. A. Griffith (1893 -1963), Begründer bruchmechanischer Denkmodelle in der technischen Mechanik definiert/modellierte in seiner klassischen Arbeit über (Spröd-)Bruchmechanik [4] solche (Bemessungs-)Situationen des Einsetzens eines „instabilen Risswachstums“ von der energetischen Seite bzw. vom Standpunkt der „Energiebilanz“ mit dem Energiekriterium („G-Konzept“, Bruchkriterium:  $G < G_c$ ) in dem er die zugeführte Energie (pro Rissfortschritt  $dW/da$ ) welche (zu Ehren Griffith's) mit  $G$  bezeichnet wird, mit einem kritischen Wert  $G_c$  verglich. Beim Erreichen dieses (Grenz-)Wertes tritt Rissinstabilität (spontane Rissausbreitung) auf [9], [10]. Die wachsende Bedeutung (schadens-)bruchmechanischer Ansätze und Parameter im (Faser-) Beton-, Stahlbeton- und (Beton-)Verbundbau liegt hauptsächlich in der rechnerischen und experimentellen Untersuchung von „spröden“, schubtragverhaltens- dominierten Versagensarten (z.B. Schub- oder Torsions-Brüche und Rissbildungen, Durchstanzen, Duktilitätsbedarf bei Erdbebenbeanspruchung, usw.) welche neben der Tragwiderstand (gegen horizontalen Kräfte, z. B. Erdbeben auch die Dauer- Gebrauchstauglichkeit eines Bauteils bzw. Bauwerkes beschränken/verringern könnten (Bild 1) [5]. Die (Maß-)Einheit/Dimension von  $G$  (Energiefreisetzungsrates, also eine Art „spezifische Bruchenergie“) ist  $[Kraft \times Länge / Länge^2]$  und wird z.B. in  $[N/m]$  oder  $[N/mm]$  bzw. „Kraft pro (Einheits-)Dicke“ angegeben und deswegen auch als „Riss-Ausbreitungskraft“ bezeichnet [10].



**Bild 1:** Analogie zwischen den Stabilitätskriterien aus der Baustatik (Knickproblematik des schlanken Druckstabes) und der Bruchmechanik („Griffith-Bedingung“, Problematik des angerissenen Zugstabes, Rissgeometrie/Risslänge :  $a_c$ , LEBM) in Anlehnung an [5] und [7]. Für die Rissbildung/Rissentstehung) gilt ein Spannungskriterium, für die Rissausbreitung/Rissfortpflanzung ist jedoch ein Energiekriterium („G-Konzept“ [10]) maßgebend.

Besonders bei der Planung und Realisierung schlanker, faserverstärkter hochfester Betonbauwerke und Bauteile, - bei denen relativ kleine Rissbreiten und großes Energieabsorptions- und Verformungsvermögen/Duktilität angestrebt wird – kann eine praxisorientierte „angewandte“ Bruchmechanik innovative Konzepte liefern, die es ermöglichen das Versagensrisiko zu minimieren, z.B. bei erdbebengerecht- konzeptionellen Entwurf von Hochbauten („Pushover-Analysis“) zur Ermittlung der „Bauwerkskapazität“, üblicherweise mit Fließgelenkmodell – Rechenprogramme [1], [6] (siehe auch Bild 2):

.....“ Bei extrem großen, durch aufgezwungenen Verformungen/Deformationen verursachten Belastungen (z. B. Erdbeben- Beanspruchung, Flugzeugaufprall, Katastrophenlasten wie Tsunami, Tornados usw.) ist dieses (zähigkeitsrelevantes) Absorptionsvermögen von (Bruch-) Energie von enormer Wichtigkeit“ und könnte sogar z. B. für die „Bemessungsduktilität“ (als Bestandteil der Gebrauchstauglichkeit), eines (Stahlbeton-)Tragwerks Konstruktionsart- bzw. Baustoffauswahlentscheidend werden.



**Bild 2:** Bei Erdbeben- Gebrauchstauglichkeits-Nachweis schlanker, hochfester Betonbauwerke (z.B. bei der o.a. Erdbebenbemessung eines Prüfturms der Fa. WITTUR in Scheibbs, NÖ: Konstruktionsplanung: Bölcsey & Partner, Statische Bearbeitung: Prof. Benko) wird bei relativ kleinen Rissbreiten ein großes Verformungsvermögen/Duktilität angestrebt und bei der Ermittlung der „Bauwerkskapazität“ sogar vorausgesetzt. Zur Erhöhung der Zähigkeit/Duktilität, also zur „Mobilisierung einer „inelastischen Strukturantwort“ infolge erdbebenrelevanten Umlagerungseffekten, z.B. der Bildung von (Quasi-)Fließgelenken sollte eine, nach bruchmechanischen Ansätzen optimierte, Bruchenergie- steigernde Faserzugabe (und die gezielter Anwendung von (hoch-)duktilen SHCC-Betonsorten) überlegt werden [8].

## Literatur

- [1] Meskouris, K.; Hinzen, K.-G.; Butenweg Ch.; Mistler, M.: Bauwerke und Erdbeben Grundlagen- Anwendung- Beispiele 3. Aufl., Vieweg Teubner Verlag/Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2011
- [2] Paulay, T., Bachmann, H und Moser, K.: Erdbebenbemessung von Stahlbetonhochbauten. Basel: Birkhäuser Verlag 1994.
- [3] DIN EN 1998-1; EUROCOD 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1 : Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten, Deutsche Fassung EN 1998-1: 2004+AC:2009, deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin, Dezember 2010.
- [4] Griffith, A. A.: The phenomena of rupture and flow in solids. Philosophical Transactions, Series A, 221: 163-198 (1921).
- [5] Brüchwiler, E.: Bruchmechanik von Staumauerbeton unter quasi-statischer und erdbebedynamischer Belastung. These No. 739, Dissertation an der ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE (EPFZ), Lausanne EPP., 1988
- [6] Wieser, S.: Erdbebenbemessung eines Prüfturms der Fa. Wittur in Scheibbs, Diplomarbeit (im Fach Stahlbetonbau), Studiengang konstruktiver Ingenieurbau der HTWK Leipzig, Dezember 2008
- [7] Grimm, R: Einfluß bruchmechanischer Kenngrößen auf das Biege- und Schubtragverhalten hochfester Betone  
DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON,  
Heft 477 Beuth Verlag GmbH Berlin 1997
- [8] Prantl, A.: Entwicklung eines SHCC-Betons für die Verstärkung von erdbebenbeanspruchten Gründerzeitmauerwerk  
Diplomarbeit/Master Thesis an der TU Wien, Institut für Hochbau und Technologie, Wien, Mai 2014
- [9] Bölcskey, E., Schneider, U.: Die Zerschlagbarkeit der „Transparenten (Glas-)Architektur“-Bruchmechanisch betrachtet S. 45-86 Beiträge zum Internationalen Symposium vom 18 - 19. Okt. 2012 am Institut f. Hochbau und Technologie an der TU Wien und an der NDU St. Pölten
- [10] Gross, D., Seelig, Th.: Bruchmechanik – Mit einer Einführung in die Mikromechanik (4. Auflage), Springer – Verlag Berlin Heidelberg New York 2007

# Entwicklung des Lärmverhaltens von Deckschichten auf den Autobahnen in Österreich

Autor: DI Michael Oberascher

Co-Autor: Dipl.-Ing. Dr. Alfred Weninger-Vycudil

## 1. Das Problem „Lärm“

Verkehrslärm, hervorgerufen durch das Antriebsgeräusch von Kraftfahrzeugen einerseits und das Reifen-Fahrbahn-Geräusch andererseits, gilt nach wie vor als einer der Hauptverursacher von belästigenden Lärmemissionen.<sup>1</sup>

Im Zusammenhang mit dem Reifen-Fahrbahn-Geräusch spielen lärmmindernde Fahrbahndeckschichten eine zunehmend große Rolle, vor allem im hochrangigen Straßennetz und im urbanen Bereich. Eine effektiv lärmmindernd wirkende Fahrbahndeckschicht kann unter Umständen sogar das Erfordernis einer baulichen Lärmschutzmaßnahme (Lärmschutzwand, Lärmschutzwahl etc.) ersetzen. Aus diesem Grund ist es von besonderer Bedeutung, die Entwicklung des Reifen-Fahrbahn-Geräusches über die Zeit und dessen Einflussfaktoren für verschiedene, im österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßennetz gebräuchliche Fahrbahndeckschichten zu kennen, um so lärmtechnische Planungssicherheit zu haben.

## 2. Forschungsprogramm

Im Zuge der Erstellung meiner Diplomarbeit wurde eine Vielzahl von in den letzten zwölf Jahren durchgeführte Rollgeräuschmessungen nach RVS 11.06.64 statistisch ausgewertet und getrennt nach Art der Fahrbahndeckschicht, Größtkorn und Fahrspur (Normalspur oder Überholspur) grafisch in Verteilungskurven aufbereitet. Auf Basis dieser Daten wurde versucht, für den jeweiligen Fahrbahndeckschichttyp eine zeitliche Entwicklungs- bzw. Prognosefunktion zu finden, um die durchschnittliche, jährliche Veränderungsrate des Reifen-Fahrbahn-Geräusches abschätzen zu können. Die Ergebnisse wurden anschließend auch mit Werten anderer, bereits publizierter Forschungsarbeiten verglichen. Abschließend wurde in versucht, das Lärminderungspotenzial verschiedener (baulicher) Maßnahmen anschaulich darzustellen. Die Auswertung beschränkte sich dabei auf die im Autobahnen- und Schnellstraßennetz der ASFINAG gebräuchlichsten Deckschichtarten Betondecke mit Waschbetonstruktur und Splittmastixasphalt. Offenporige Asphalte haben sich trotz lärm- und fahrsicherheitstechnischer Vorteile aufgrund der schnellen Glatteisbildung und des erhöhten Streusalzverbrauches im Winter im alpinen Raum nicht bewährt.

## 3. Gewonnene Erkenntnisse

Die Analyse der Untersuchungsergebnisse ergab, dass bei Betondecken mit Waschbetonstruktur der Pegel für das Reifen-Fahrbahn-Geräusch zum Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe etwa 4 dB(A) über dem Pegel eines lärmarmen Splittmastixasphalts Typ S3 liegt, sich diese Differenz im Laufe des Betriebes der Fahrbahn aber verringert und Waschbetondecke und Splittmastixasphalt Typ S3 dann in etwa ein gleich lautes Rollgeräusch erzeugen. Dieser zeitliche Verlauf der Rollgeräuschpegel nach RVS 11.06.64 ist abhängig vom verwendeten Größtkorn. Für ein Größtkorn von 11 mm gelten die eben beschriebene Pegeldifferenz und deren Verlauf gegen Null. Für ein Größtkorn von 8 mm zeigt sich zum Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe eine noch größere Differenz von etwa 7 dB(A), welche sich im Laufe der Jahre aber ebenfalls stark verringert, so dass nach etwa sieben Jahren die erzeugte Reifen-Fahrbahn-Geräusch-Emission auf einem lärmarmen

---

<sup>1</sup> Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Umweltbedingungen, Umweltverhalten, Ergebnisse des Mikrozensus 2007, Kurzfassung. Wien: 2009. S. 14f.

Splittmastixasphalt Typ S3, Größtkorn 8 mm und einer Betondecke mit Waschbetonstruktur, Größtkorn 8 mm annähernd gleich sind (siehe unten stehende Abb. 1)

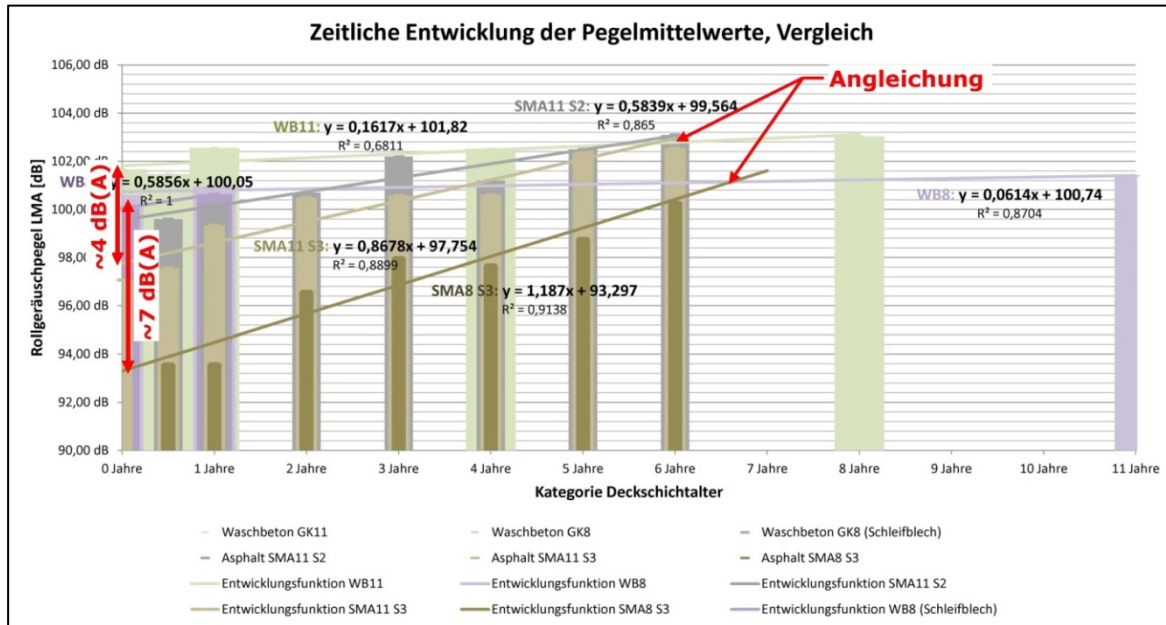


Abb. 1: Zeitliche Entwicklung der statistischen Rollgeräuschpegelmittelwerte von verschiedenen Fahrbahndeckschichten und Darstellung der den Messwerten zugehörigen, linearen Entwicklungsfunktionen

Die Messung des Rollgeräuschpegels erfolgt in Österreich nach der RVS 11.06.64. International ist das Verfahren nach ISO/DIS 11819-2 (Close Proximity Sound Index) gebräuchlich. Mittelfristig wird es also erforderlich sein, das Verfahren zur Rollgeräuschmessung in Österreich dem internationalen Standard anzugleichen – auch deshalb, um Messergebnisse in Österreich mit jenen in anderen europäischen Ländern besser vergleichen zu können.

Faktoren wie Wind, Niederschlag, Luft- und Fahrbahnoberflächentemperatur, Fahrgeschwindigkeit oder inhomogene Fahrbahnoberflächen, die das Reifen-Fahrbahn-Geräusch beeinflussen, werden in allen genormten Messverfahren (österreich. Verfahren nach RVS 11.06.64, CPX-Verfahren nach ISO/DIS 11819-2, SPB-Verfahren nach ÖNORM EN ISO 11819-1, SPB-Verfahren mit „Backing Board“ nach ISO/PAS 11819-4; CPB-Verfahren) durch die Definition von Messbedingungen geregelt oder durch Korrekturfaktoren in der Schalldruckpegelberechnung berücksichtigt. Obwohl die Art des emissionserzeugenden Kraftfahrzeuges (Pkw, zwei- oder mehrachsiger Lkw) sehr wohl einen Einfluss auf das jeweilige Reifen-Fahrbahn-Geräusch bzw. das Verkehrsgeräusch als Gesamtes hat, scheint sich die Verkehrsstärke, ausgedrückt durch den JDTV, auf den Gesamrollgeräuschpegel nur gering auszuwirken.

Um die für Straßenanrainer bedeutsame Dauerhaftigkeit einer Lärminderung durch die Struktur der Fahrbahndeckschicht gewährleisten zu können, wäre eine Kontrolle des Rollgeräuschpegels durch eine Vergleichsmessung vor Ablauf der Gewährleistungsfrist von üblicherweise fünf Jahren anzustreben. Diesbezügliche Regelungen wären in den Arbeitsausschüssen der Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr im Rahmen von RVS-Aktualisierungen noch zu erarbeiten. Einige Vorschläge hierzu sind in den Schlussfolgerungen der Diplomarbeit bereits enthalten.

Im Rahmen der Rollgeräuschmessungen wurden auch Betondecken mit Waschbetonstruktur, Größtkorn 8 mm untersucht, bei welchen durch Nachziehen eines Schleifbleches am Oberbetonfertiger die Makrostruktur lärmtechnisch optimiert wurde. Da diese Variante der Betondeckenherstellung noch relativ jung ist, liegen noch keine Ergebnisse für höhere Liegedauern vor. Die Durchführung einer Langzeitstudie ist daher unbedingt zu empfehlen, da die ersten, im Rahmen dieses Forschungsprogramms gewonnenen Erkenntnisse eine Lärminderung von etwa 0,4 dB(A) bis 0,5 dB(A) erwarten lassen.

#### 4. Fazit

Lärmarmer Splittmastixasphalt ist zwar zum Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe leiser als eine Betondecke mit Waschbetonstruktur, nach sechs bis sieben Jahren unter Verkehr ist dieser lärmtechnische Vorteil jedoch aufgebraucht, so dass ab diesem Zeitpunkt sogar Waschbetondecken leiser zu sein scheinen.

#### 5. Quellenverzeichnis

- Oberascher, Michael: Entwicklung des Lärmverhaltens von Deckschichten auf den Autobahnen in Österreich. Diplomarbeit FH Campus Wien, Februar 2014
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Umweltbedingungen, Umweltverhalten, Ergebnisse des Mikrozensus 2007, Kurzfassung. Wien: 2009.
- Österreichische Forschungsgesellschaft für Straße – Schiene – Verkehr (Hrsg.): RVS 11.06.64. Prüfungen Fahrbahnoberfläche, Rollgeräuschmessungen. 08.04.1997.
- Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM EN ISO 11819-1. Akustik – Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche. Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren. 01.03.2002.
- International Organization for Standardization (Hrsg.): ISO/DIS 11819-2. Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise. Part 2: The close-proximity method. 22.05.2013
- International Organization for Standardization (Hrsg.): ISO/PAS 11819-4. Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise. Part 4: SPB method using backing board. 15.03.2013



# Lochbleche als Bewehrungselement schlanker Metall-Beton-Verbundplatten unter statischer und dynamischer Belastung

Stephan Pirringer  
Technische Universität Wien  
Institut für Tragkonstruktionen

## 1. EINLEITUNG

An der technischen Universität Wien ist derzeit ein neuer Ansatz für kleinformatige Verbundplatten in Entwicklung. Durch den Einsatz eines einseitig angebrachten Lochbleches, soll diese neuartige Verbundplatte sowohl eine Reduktion der Bauhöhe als auch des Produktions- und Kostenaufwandes ermöglichen (Abb. 1).

Im Vergleich zu herkömmlich bewehrten, kleinen Betonplatten, wie sie z.B. als Trogdeckel Verwendung finden, aber auch zu Verbundplatten mit Profilblechen bietet diese neue Technik einige Vorteile. So kann bei dieser Bauweise einerseits die Betondeckung zur Gewährleistung eines kraftschlüssigen Verbundes entfallen, und andererseits die Mindestbauteildicke, durch die Verwendung eines flachen Lochbleches, reduziert als auch zweiachsig gespannte Verbundplatten realisiert werden. Dadurch sind bei kleinformatigen Verbundplatten eine Gewichtsersparnis sowie eine Reduktion der Bauteilhöhe bis zu 20% möglich.

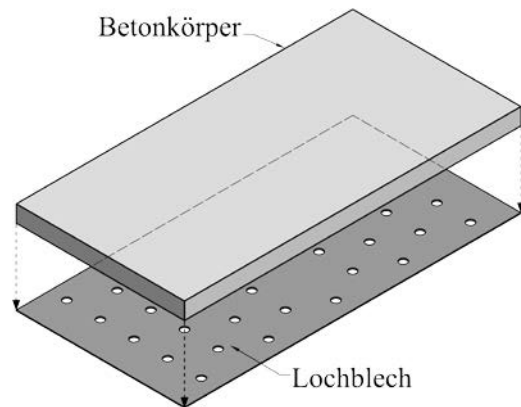


Abb. 1: Schematische Darstellung der Metall-Beton-Verbundplatte

## 2. TECHNISCHER HINTERGRUND

Der Verbund zwischen dem verzinkten Lochblech aus Stahl und dem Aufbeton wird bei diesem Ansatz durch den Beton, der während des Betonierens die Löcher des am Boden der Schalung liegenden Lochbleches ausfüllt, hergestellt. Die gesamte in der Verbundfuge wirkende Schubkraft wird durch die so entstandenen Betondübel (Schubverbinder) aufgenommen. Deren gleichmäßige Verteilung erlaubt es auf weitere Maßnahmen zur Endverankerung, die aufgrund der niedrigen Bauteilhöhe (2cm bis 10cm) nur schwer bis gar nicht zu realisieren wären, zu verzichten.

## 3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Zur Untersuchung und Erforschung des Tragverhaltens von Verbundplatten dieser neuartigen Bauweise, wurden in den letzten vier Jahren zahlreiche Versuche durchgeführt. Im Fokus dieser Versuche standen die Schubtragfähigkeit der einzelnen Betondübel innerhalb der Verbundfuge unter alleiniger Schubbeanspruchung, als auch das Trag- und Verbundverhalten ganzer Verbundplatten unter statischer und dynamischer Biege- und Querkraftbeanspruchung. Neben Schubverbindern mit kreisförmigem Querschnitt wurden auch alternative Querschnittsgeometrien der Betondübel (Langloch, quadratisch, rechteckig) und deren Anordnung innerhalb der Verbundfuge (regelmäßiges quadratisches/rechteckiges Raster, diagonal versetztes Raster) untersucht. In einigen gesonderten Versuchen wurden außerdem zweiachsig gespannte Verbundplatten bei unterschiedlichen Lagerbedingungen getestet.

Zur Untersuchung des Tragverhaltens der Schubverbinder wurden Abscherversuche an 79 Versuchsserien zu je 5 Versuchskörpern durchgeführt. Der für diese Versuche eigens entwickelte Versuchsaufbau ermöglicht durch eine optionale Querdruckbelastung sowohl Plattenbereiche am Auflager als auch im Feld der Platte zu simulieren.

Das Tragverhalten der Verbundplatten wurde in der Regel mit 4-Punkt-Biegeversuchen an Versuchskörpern einheitlicher Geometrie untersucht ( $L/B/H = 1000/200/50$  [mm]). Die dafür durchgeführten Versuche umfassten 41 Versuchsserien unter statischer sowie 5 Versuchsserien unter dynamischer Belastung zu jeweils 3 Versuchskörpern. Während in den meisten Versuchen für den Aufbeton ein selbstverdichtender Beton variierender Güte verwendet wurde, wurden im letzten Jahr auch Versuche an Verbundplatten aus Normalbeton der Güte C25/30 getestet.

Die Dauerhaftigkeit dieser neuartigen Platten wurde des Weiteren auch durch Versuche an Frost- und Frost-Tausalz-Wechsel beanspruchten Versuchskörpern untersucht. Die dabei aufgetragenen Zyklen der Frost-Tau-Wechselbeanspruchung wurden in Art und Umfang nach den Vorgaben der ONR 23303:2010 gestaltet (XF3, XF4).

#### 4. VERSUCHSERGEBNISSE

In allen Versuchen konnten sehr gut übereinstimmende Ergebnisse mit den vorab berechneten Traglasten erzielt werden. Bei richtiger Wahl aller Parameter zeigten die Platten im Grenzzustand der Tragfähigkeit ein äußerst duktilen Verhalten. Ein direkter Vergleich zwischen unbehandelten, rein statisch belasteten Versuchskörpern (s. Abb. 2, Serie 1), Frost-Tausalz-Wechsel beanspruchten Platten (Serie 2), Platten mit dynamischer Vorbelastung im Umfang von 2 Mio. Lastzyklen (Serie 3) und kombiniert vorbelasteten Platten (Serie 4) zeigt eine sehr gute Korrelation untereinander. Die Auswirkungen einer etwaigen Vorbelastung können hierbei als gering angesehen werden.

Eine vorzeitige Ablösung des Lochbleches vom Aufbeton konnte vor Erreichen der Traglast bei keinem der Versuchskörper festgestellt werden. Bei nahezu allen Versuchskörpern, war selbst nach dem Versagen ein guter Verbund gegeben.

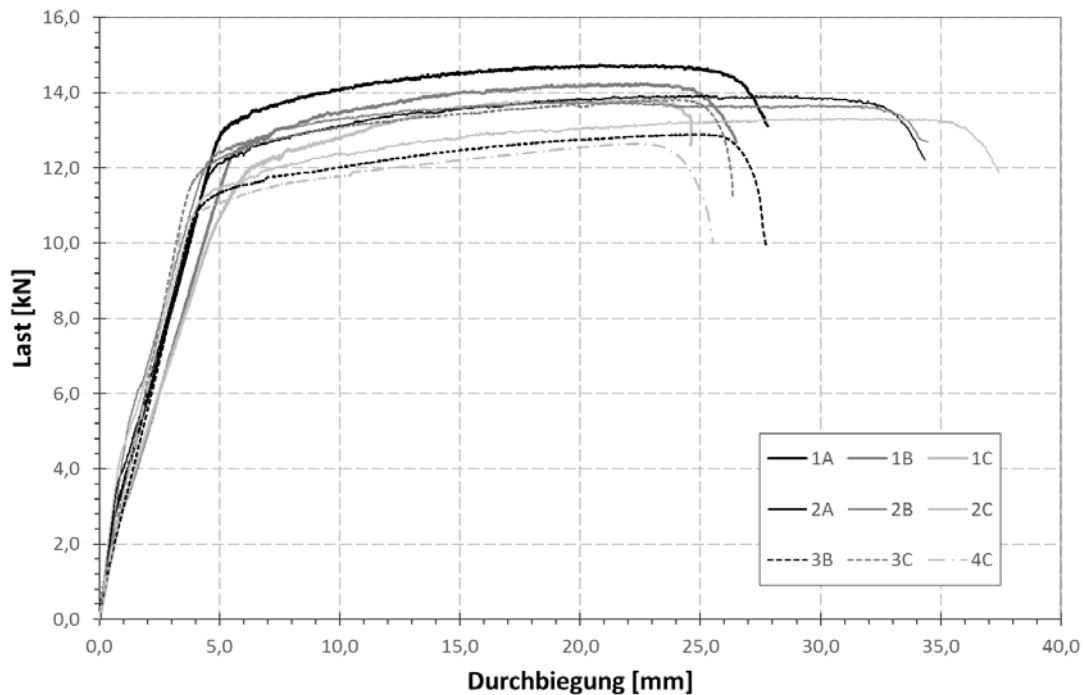


Abb. 2: Last-Verformungsdiagramme baugleicher Versuchskörper in statischen 4-Punkt-Biegeversuchen: Serie 1 – ohne Vorbehandlung, Serie 2+4 – inkl. Frost-Tausalz-Wechselbeanspruchung, Serie 3+4 – nach dynamischer Belastung

## BKTA – Betonkeller thermisch aktiviert

Steigerung der Energieeffizienz und Wohnbehaglichkeit in der Zukunft

Dipl.-Ing. Markus Winkler

Department für Bauen und Umwelt, Donau-Universität Krems

### Projekthintergrund und Einleitung

Die Notwendigkeit der Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden sowie der Wunsch von Bauherren nach höchstmöglichem Komfort verlangen nach ressourcenschonendem Energieeinsatz und durchdachten Haustechnikkonzepten. Aktive Speichermassenbewirtschaftung in Kombination mit intelligenter Steuerung und effizienter Bauweise ermöglichen ein Heizen und Kühlen mit Umgebungswärme – in diesem Fall: dem Erdreich.

Kellerumschließungsflächen können einerseits als Kurzzeitpuffer hinsichtlich thermischer Energie verwendet werden, andererseits ist durch den direkten Kontakt der Kelleraußenbauteile mit dem umgebenden Erdreich die grundsätzliche Funktion eines Wärmetauschers gegeben, der je nach Temperaturspreizung zwischen Flüssigkeitsmedium im Rohrregister und Erdreich unterschiedliche Leistungen liefert. Die zu- bzw. abführbaren Wärmemengen sind zeitlich nicht konstant, wobei grundsätzlich in zwei Bereiche unterschieden werden muss: Am Beginn der Aktivierung der Keller wird primär auf jene Energiemengen zurückgegriffen, die in den Betonbauteilen gespeichert ist. Der Keller kann als kurzzeitiger Puffer zur Spitzenlastabdeckung dienen, sofern dieser nicht leer im Sinne seines Temperaturniveaus ist, wobei zwischen dem Sommer- und dem Winterfall zu unterscheiden ist. In Wärmeperioden sind möglichst kühle Kellerbauteile von Vorteil, in Heizperioden wiederum möglichst warme, um sie in Verbindung mit oberirdischen Bauteilen bei Bedarf effizient thermisch koppeln zu können. Die zu- bzw. abgeführten Wärmemengen pro Zeiteinheit und in weiterer Folge die daraus resultierenden Übertragungsleistungen wurde im Zuge des Projekts eingehendst erforscht, da sie nicht stationär bzw. konstant sind. Unter geplanter Beibehaltung der Parameter während eines jeweiligen Betriebsszenarios wurden zwei- bis dreimal höhere Leistungen über die ersten Tage gemessen als im weiteren Verlauf. Diese wurden im Laufe des Projekts als Anfangsleistungen bezeichnet und beschreiben als solche jene Leistungen, die instationär je nach Betrachtungszeitraum (Minuten/Stunden etc.) und bei Beibehaltung sämtlicher Betriebsparameter über einige Tage deutlich über der Dauerleistung liegen. Um auch das angrenzende Erdreich mit in den Energiehaushalt aufzunehmen war es erforderlich, die Aktivierung über mehrere Wochen aufrecht zu erhalten, wodurch sich eine Form der Dauerleistung einstellen konnte.

Durch Variation der Durchflussparameter in den Kellern und zyklischer Betriebsweise konnte ein praxisrelevanter Ansatz und dadurch zwei wesentliche Betriebsweisen im Zuge des Projekts verifiziert werden: Keller können in der Heizperiode zur Nutzung der wärmeren Umgebungstemperaturen des Erdreichs in Verbindung mit einer Wärmepumpe genutzt werden, während in Hitzeperioden diese als effiziente Free Cooling-Elemente einsetzbar sind, indem die kühleren Erdreichtemperaturen via Kelleranbindung erschließbar gemacht werden. Dadurch erfährt der Keller als aktives Element des Haustechniksystems eine deutliche Aufwertung.

Dieses geförderte Kooperationsprojekt, initiiert durch den Bau.Energie.Umwelt.Cluster NÖ, wird durch die Donau-Universität Krems wissenschaftlich geleitet.

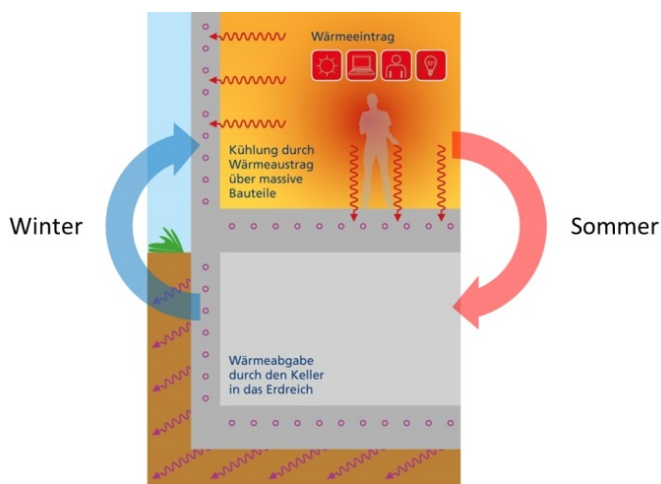


Abbildung 1: Wärmetauscher Betonkeller<sup>1</sup>

<sup>1</sup> © Thomas Schönbichler

### Methodik

Für dieses Projekt wurden 2 thermisch aktivierbare Betonkeller (K1 und K2) errichtet, die sich im Aufbau dahingehend unterscheiden, dass K1 keine Wärmedämmung bis auf die Kellerdecke erhielt während die Wände von K2 bereits im Fertigteilwerk mit einer 20 cm dicken Kerndämmung ausgerüstet wurden (vgl. Abbildung 2 u. Abbildung 3). Sämtliche Betonbauteile sind thermisch aktivierbar. Neben der 7 cm dicken äußeren Wandschale erhielt auch die mit einer Dämmschicht von der Fundamentplatte getrennte Sauberkeitsschicht von K2 ein Rohrregister, wodurch bei K1 in Summe 6 und bei K2 6+5 Ebenen aktivierbar sind.

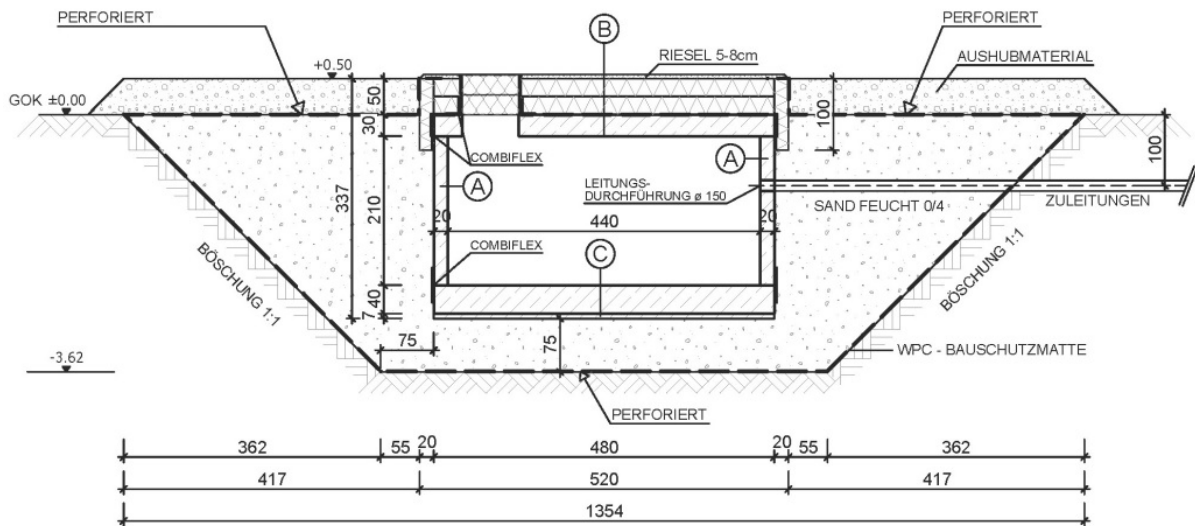


Abbildung 2: Keller 1 (ungedämmt; 6 Absorberebenen zur thermischen Aktivierung)<sup>2</sup>

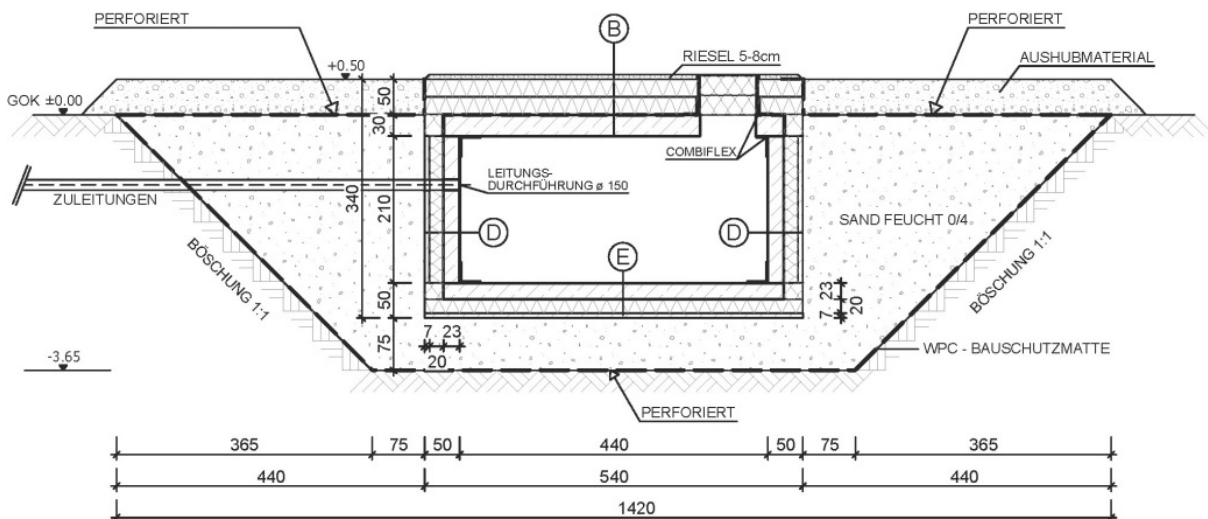


Abbildung 3: Keller 2 (gedämmt, Kerndämmung; 11 Absorberebenen zur thermischen Aktivierung)<sup>3</sup>

Dadurch ergaben sich unterschiedliche thermische Bewirtschaftungsmöglichkeiten als Betonspeicher und Wärmetauscher, die sich in Heiz- und Kühlszenarien simulieren ließen. Zur Ermittlung der Wärmeübertragungsleistungen aus dem Erdreich (Heizperiode) bzw. in das Erdreich (Kühlperiode) über die erdberührten Bauteile wurden Wärmemengenzähler zur Erfassung der hydraulischen Daten eingesetzt. Daneben gaben zahlreiche Temperatursensoren in den Betonbauteilen und in der angrenzenden Sandhinterfüllung Aufschluss über die Temperaturverteilung und deren zeitliche Entwicklung.

<sup>2</sup> © Kirchdorfer Industries GmbH, modifiziert

<sup>3</sup> © Kirchdorfer Industries GmbH, modifiziert



Abbildung 4: Bauphase Keller 2<sup>4</sup>

### Ergebnisse (aktueller Forschungsstand)

Konstante und zyklische Aktivierungen der Betonbauteile lieferten unterschiedliche spezifische Leistungen hinsichtlich der Wärmeabfuhr bzw. des Wärmeentzugs.

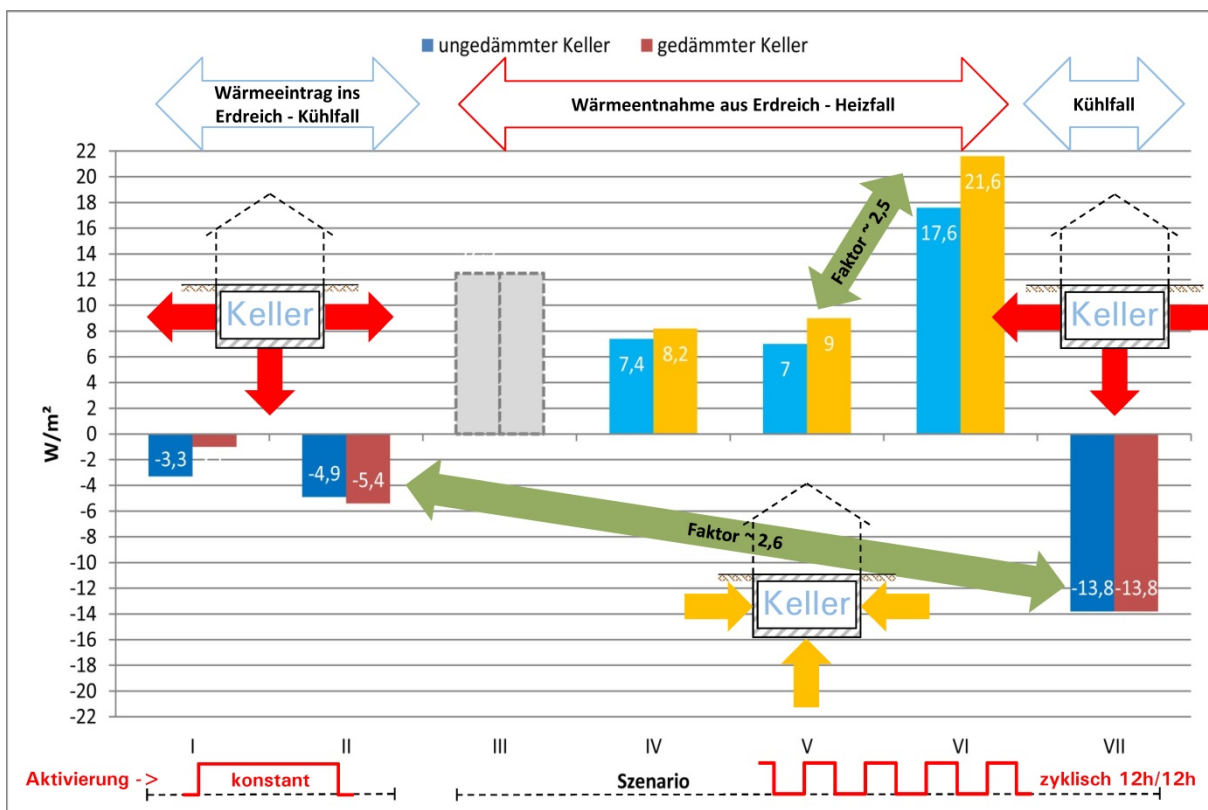


Abbildung 5: Ergebnisse der Übertragungsleistungen der Betonbauteile im Kühl- und Heizfall

Obige Abbildung 5 fasst die Ergebnisse von 7 Aktivierungsszenarien zusammen, wobei die Dauerleistungen im Heiz- und Kühlfall auf der Ordinate dargestellt sind, die sich nach ca. 1-2 Wochen bei einer definierten anfänglichen Temperaturspreizung zwischen Vorlauftemperatur und Beton/Hinterfüllung einstellen. In den ersten

<sup>4</sup> © VÖB/MABA/Oberndorfer/Trepka

Tagen wurden die Speicherpotentiale der Betonbauteile ausgenutzt, wobei sich die Temperaturspreizung von ca. 5 Kelvin in Szenario I bis V bzw. 10 Kelvin in VI und VII abbaute. Beide Keller wurden als Gesamtes aktiviert, eine Einzelflächenaktivierung war in diesem ersten Projekt nicht vorgesehen.

Die linken blauen Balken eines Balkenpaares beziehen sich auf K1, die rechten roten bzw. gelben auf K2. Positive Ordinatenwerte stellen die Wärmeentnahme aus dem Erdreich dar, Werte unter Null den Wärmeeintrag.

Durch Anpassung der hydraulischen Parameter des Vorlaufmediums konnte eine Art Maximum in Bewirtschaftungsszenario VI und VII erzielt werden. Einer 12-stündigen Aktivierungsphase stand eine 12-stündige passive „Erholungsphase“ gegenüber.

Die Wärmeübertragungsleistungen konnten über ca. 4 Wochen auf konstantem Niveau bei ca. 14 bzw. 22 Watt/m<sup>2</sup> außenmaßbezogener Betonoberfläche gehalten werden. Die zu Beginn angelegte Temperaturspreizung in VI und VII lag bei ca. 10 Kelvin (Vorlaufmedium zu Betonbauteil/Erdreich).

Derartige Leistungen können für Niedrigstenergiegebäude energetisch für Wärmepumpen im Heizfall und z.B. im Sommer zur Kühlung der Obergeschoße effizient genutzt werden.

Als Folgeprojekt ist ein Realobjekt in Form eines EFH geplant, dessen Keller grundsätzlich dem Aufbau von K2 folgt und dieser mit Teilen der massiven Obergeschoße (Wände und/oder Decken) thermisch über Rohrregister verbunden ist.

#### **Forschungspartner:**

Donau-Universität Krems (wissenschaftliche Projektleitung)  
Austrian Institute of Technology GmbH

#### **Unternehmenspartner:**

Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke  
MABA Fertigteilindustrie GmbH  
Franz Oberndorfer GmbH & Co KG  
Alfred Trepka GmbH

