

KURZFASSUNG DER BEITRÄGE

Kollo quium

Forschung & Entwicklung
für Zement und Beton

2017



AUSTRIAN COOPERATIVE RESEARCH
KOOPERATION MIT KOMPETENZ



smartminerals
science to design the future



VEREINIGUNG DER ÖSTERREICHISCHEN
ZEMENTINDUSTRIE

Forschung & Entwicklung in der Infrastruktur

**Das Forschungsinstitut in der Reisnerstraße –
ein Rückblick auf die Arbeit von sechs Jahrzehnten**

Baurat h.c. Prof. DI Dr. Hermann Sommer, *Wien*

Zwischenlager für mineralische Baurestmassen – Part of EcoRoads

Franz Lecker, ÖBA - Österreichische Betondecken Ausbau GmbH,
Graz DI Dr. Johannes Horvath, Lafarge Zementwerke GmbH, *Wien*

Spurwege im ländlichen Straßennetz

unter besonderer Berücksichtigung der Betonbauweise

Hofrat DI Dr. Wolfgang Haslehner

Amt der Burgenländischen Landesregierung, *Eisenstadt*

Ökobilanz verschiedener Ausbauvarianten von Güterwegen

Thomas Kägi, Carbotech AG, *Zürich*

**Fugenlose, schwindkompensierte Industriefußböden
mit dem Mapecrete System**

DI Gerhard Haiden, MAPEI Austria GmbH, *Langenwang*

DURANT® – Beton für monolithische Platten

DI Christoph Ott, Baustofftechnik GmbH, *Langenzersdorf*

Forschung & Entwicklung im Hochbau

Planung einer neuen Strahlenkammer für das Atominstitut der TU Wien

DI Gerald Maier, Smart Minerals GmbH, *Wien*

DI Dr. Helmut Zehentner, Fröhlich & Locher und Partner ZT GmbH, *Wien*

DI Wilfried Mach, TU Wien, Atominstitut, *Wien*

Abrisse von Zementleim an Oberflächen von Leichtbeton-Sichtbeton

DI (FH) Daniela Ehrenreich, DOKA Österreich GmbH, *Amstetten*

DI Thomas Schönbichler, Cooperative Leichtbeton, *Wien*

Sommerlicher Wärmeschutz – Sommertauglichkeit der Bauweisen

DDI Dr. Joachim Nackler, Prof. DI Dr. Klaus Krec

TU Wien, Fakultät für Architektur und Raumplanung, *Wien*

Forschung & Entwicklung in der dritten Dimension

3D-Drucken mit Beton – Potentiale in der Architektur

Daniel Weger MSc, Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen

TUM-Technische Universität München,

cbm-Centrum Baustoffe und Materialprüfung, *München*

Innovation Circle: Interdisziplinäre Forschung rund um den 3D-Betondruck

DI Georg Grasser, Universität Innsbruck, *Innsbruck*

COEBRO – Additive Fabrication of CONCRETE ELEMENTS BY ROBOTS

Herstellung eines 3D-gedruckten Betonkanus für die Betonkanu-Regatta 2017

DI Robert Schmid BSc, DI Georg Hansemann

TU Graz, Institut für Tragwerksentwurf, *Graz*

Forschung & Entwicklung mit Betontechnologie

Mein individuell entwickelter Ultra Hochfester Beton:

Moderne Betontechnologie in der Praxis

Dr. Ing. Thomas Teichmann, G.tecz Engineering GmbH, *Kassel*

Geklebte Verbindungen im Holz-Beton-Verbundbau

DI Christian Dillig, Smart Minerals GmbH, *Wien*

DI Dr. Christoph Hackspiel, Holzforschung Austria, *Wien*

Beton-technologische Einflussfaktoren

auf die Dauerhaftigkeit von Tunnelanstrichsystemen

DI Birgit Achleitner, Smart Minerals GmbH, *Wien*

DI Michael Steiner, ASFINAG Bau Management GmbH, *Wien*

Ungemahlener Hüttensand als Substituent

der feinen Gesteinskörnung in Beton

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

Baustellenrelevante Kennwerte von Beton –

abseits von Konsistenzklasse und 28d-Druckfestigkeit

Dr.-Ing. Jürgen Huber, BASF Construction Solutions GmbH,
Mannheim

Forschung & Entwicklung bei UHPC

Verankerung der Vorspannung in filigranen UHPC-Bauteilen

DI Goran Vojvodic, TU Graz, Institut für Betonbau, *Graz*

Dünnwandige Bauteile aus carbonbewehrtem Ultrahochleistungsbeton

DI Philipp Preinstorfer, Dr. Benjamin Kromoser

Prof. DI Dr.-Ing. Johann Kollegger

TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen, *Wien*

Die UHPC-Schalenbauweise –

Anwendungsbeispiele für den Hoch- und Brückenbau

Dr. Michael Olipitz, SDO ZT GmbH, *Graz*

Hermann Sommer, Wien:

Das Forschungsinstitut in der Reisnerstraße – Rückblick auf die Arbeit von 65 Jahren

Das Forschungsinstitut (FI) der VÖZ wirkte ab 1951 in einem für seine Zwecke adaptierten ehemaligen Adelspalais im Botschafertviertel Wiens. Ende 2016 wurde seine akkreditierte Prüf- und Zertifizierungsstelle samt Personal und Ausstattung (mit einer Abteilung der TVFA der TU Wien zur Smart Minerals GesmbH verschmolzen) in größere Räumlichkeiten im Arsenal verlegt. Nachfolgend ein Rückblick auf die Arbeit der 65 Jahre in der Reisnerstraße anhand von Beispielen.

1. 1950er Jahre: Zement und die Grundlagen für seine Anwendung

Seit 1951 in Betrieb: Zementprüfung, Spezialzemente, F&E für Zement (erste REM des Zementsteins) und seine Anwendungen, Erhebung des internationalen Wissensstandes und Zusammenfassung in:

Czernin, W.: Zementchemie für Bauingenieure. 156 Seiten, Bauverlag Wiesbaden 1960. Das Buch, fachlich und sprachlich gleichermaßen brillant, enthielt schon die noch heute gültigen Grundlagen der Betontechnologie (W/Z-Wert, künstliche Luftporen, Beständigkeit). Die Talsperren- und Kraftwerksbauer wendeten sie bereits an, viele andere Bereiche des Betonbaus dagegen nicht.

2. 1960er Jahre: Die Hinwendung zu Beton

2.1 Aufrüstung des Forschungsinstituts (FI)

Anlass: Gefährdung des Betonstraßenbaus infolge von Schäden (keine LP, schadhafte Raumbfugen)

Folgerung der VÖZ (Vorsitz R. Gehart): Vorhandenes Wissen in die Praxis! Dazu FI aufstocken, Personalstand verdoppeln und neue Betonabteilung einrichten unter R. Springenschmid; Beratung und Prüfung gratis für Bauwirtschaft und Bauverwaltung (auch in den folgenden Jahrzehnten).

2.2 Bauberatung

auf den Baustellen, prompt, intensiv, kostenlos; Personal vor Ort, z.B. mittels Taschenmikroskop von Bedeutung der LP-Mittel, überzeugen, Fehler finden und mit Rat und Prüfungen abstellen. – Bald keine gravierenden Schäden mehr, Rettung der Betondecke, raumbfugenlose Bauweise (ohne Bewehrung, mit kurzen Fugenabständen) eingeführt und FI als Partner etabliert.

2.3 Schulung und Information

Schulung von Labor- und Aufsichtspersonal des Straßen- und Brückenbaus. Daraus entwickelten sich später die WIFI-Kurse Betontechnologie, deren Absolvierung die Vorschriften bald auch forderten.

Merkblätter über Zement und Beton (nach Jahrzehnten 24 an der Zahl) wurden zu Tausenden an die Baustellen verteilt und in den Taschenkalendern der VÖZ-Werke abgedruckt. Daraus entstand das laufend aktualisierte rote Zement und Beton Fachtextbuch, das in jedem Baubüro vorlag und Generationen von Studenten begleitete.

Arbeit in Fachausschüssen, z.B. erste Betonnorm B 4200 T.10

Vorträge im FI von Fachleuten des In- und Auslandes im Monatsabstand und jährliche Fachtagung zu einem Schwerpunktthema mit reger Teilnahme auch aus den entfernteren Bundesländern.

3. 1970er Jahre: F&E für Beton

3.1 Forschung zu aktuellen Fragen der Praxis

Verschleiß durch Spikereifen: Eigenkonstruktion (Springenschmid) eines Innentrommel-Verkehrssimulators (2 m, bis 100 km/h), Prüfergebnis: hoher Verschleißwiderstand durch Ausfallkörnung 4/8 mm und mind. 70 % verschleißfestes Korn 8/22 mm (heute bei Waschbeton AK 1/4 mm und mind. 65 % Korn 4/8 mm). Sowie Erlass: Spikeüberstand max. 1,5 mm, max. 100 km/h.

Risse in jungem Beton: Eigenkonstruktion eines Reißrahmens (Springenschmid, von ihm ab 1973 an der TU München verbessert). Erklärt und quantifiziert die Einflüsse auf die Reißneigung, schuf Grundlagen für die Berechnung von Temperaturspannungen im Tunnel-, Brücken- und Tiefbau (weiße Wanne); Hauptregel: frühes Aufheizen vermeiden.

Künstliche Luftporen: nur diese helfen, daher nur die kugelförmigen/kleinen Poren zählen und die groben Verdichtungs-poren getrennt erfassen; macht Prüfung einfacher und aussagekräftiger.

3.2 Entwicklungen in Kooperation mit der Bauwirtschaft

Straßenbeton mit Fließmittel: Die nötigen Regeln (mehr Mehlkorn und Feinsand, Fließ- und LP-Mittel verträglich) wurden in Zusammenarbeit mit der Einbaupartie von Pittel & Brausewetter zügig entwickelt. Der neue Beton etablierte sich dauerhaft auf Stadtstraßen und für Reparaturen. Das Fließmittel ermöglichte kleinere W/Z-Werte und damit die Verkehrsfreigabe schon nach einem Tag.

Sofort aufsprühbare Nachbehandlungsmittel mit hoher Sperrwirkung: für feinteilreichen Beton unerlässlich, nach den Vorgaben des FI von der Bauchemie (Ziffrein/Murexin, Buchinger/Asdag, später TAL) entwickelt. Sie erleichterten auch die Einführung des Gleitschalungsfertigers.

Zementstabilisierung mit 5 cm Asphalt unter der Betondecke; erstmals auf dem Packanstieg der A2 ausgeführt zum Schutz der mürbkornreichen ST, erlaubte provisorische Verkehrsbenützung und erhöhte die Lebensdauer der Betondecke auf 35 bis 40 Jahre.

4. 1980er Jahre: Weitere Grundlagen

Bei der Erschließung neuer Gesteinsvorkommen musste man die Beständigkeit von Gesteinskörnungen zutreffender beurteilen als bisher (nach Mürbkorngehalt, Feinteil- und Glimmergehalt): Dazu wählte das FI das Verhalten der Körnung im Beton beim Frost- bzw. Frost-Tausalz-Versuch. Der Schädigungsmechanismus des Betons beim Frieren und die anzuwendenden Prüfverfahren waren damals noch international umstritten: Das FI organisierte 1980 in Wien das Kolloquium „Frostbeständigkeit von Beton“ zur Sammlung und Diskussion der verschiedenen Verfahren und Erfahrungen.

Weitere Kolloquien zu aktuellen Problemen: 1983 „Chloridkorrosion“ (beunruhigende Schäden an Brückentragwerken und Stützen, eigene Versuche zu Cl-Eindringtiefe und zulässiger Rissweite); 1986 „Erhalten von Beton“ (Entwicklung von Reparaturmörteln und Beschichtungsbeton mit und ohne Kunststoffzusatz); 1989 „Stabilisierung kontaminierter Böden“ (Zement bindet Schwermetalle chemisch und behindert bei dichtem Gefüge auch das Auslaugen organischer Kontaminationen). Ergebnisse: International akkordierter Wissensstand, bessere Kontakte, nachhaltige Grundlage.

5. 1990er Jahre: Neue Herausforderungen der Praxis

Die Probleme bei der Erneuerung der A1 (Beton zu laut, nicht wiederverwendbar) gelöst durch:

Waschbeton als lärmindernder Oberbeton: mit Korn 4/8 mm statt 8/22 mm

Unterbeton mit RCB 4/32: besser als mit Kies, billiger und schonend für Kiesgruben, Straßen und Luft. RCB 0/4 mm (viel Zementstein, Alkalien und Sulfate) zur Stabilisierung der Frostschutzschicht geben.

Teerhaltiges Material unter der alten Betondecke: kommt aufgefärszt zur Stabilisierung, seine organischen Schadstoffe bindet ein von Zementindustrie dafür entwickelter Schadstoffbinder.

Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR): Später als in anderen Ländern (Gesteine des langsamen Reaktionstyps, hüttensandhaltiger Zement günstiger). Aufklärung des ersten Schadensfalls mit Hilfe aus Canada, Übernahme der RILEM Kurz- und Langzeittest zur Beurteilung der Gesteinskörnungen.

6. 2001-2016: Aktuelle Themen in Kooperation

AKR: Hunderte Schnell- und Langzeittests an Gesteinskörnungen aus 50 Vorkommen, zwei Ringversuche mit bis zu 8 Prüfanstalten, Reihenuntersuchungen von 18 Vorkommen aus A, CZ und SK.

Verstärkung von Brückentragwerken: Zunächst Einfeldbrücken aus HLB (direkt befahren), dann (mit ASFINAG, ÖBB und Bauwirtschaft) Tragwerksverstärkung mit Aufbeton, seit 2011 dazu RVS 15.02.34.

Thin White Topping von Asphaltdecken, mehrere Erprobungsstrecken.

Tunnel: Griffigkeit von Betondecken (NB-Mittel nötigenfalls abstrahlen), helle Oberfläche senkt Beleuchtungskosten, Kunststofffasern im Beton erhöhen Brandwiderstand.

Optimierung der Kornzusammensetzung 0,02 -0,125 mm: Festigkeiten um bis zu + 40 % größer. Rolle der Feinkornzusammensetzung zwar grundsätzlich bekannt (z.B. UHLB), aber auch mit normalen Betonausgangsstoffen bei entsprechender Abstimmung/Auswahl etwas zu erzielen!

Abschluss

Das FI hat Vieles entwickelt oder eingeführt, was heute Bestandteil von Regelwerk und täglicher Praxis und Grundlage für Weiterentwicklungen ist. Es ist selbstverständlich geworden: Kaum jemand weiß noch, mit welchem Aufwand es erarbeitet werden musste – und dass die Zementindustrie dafür vorausschauend die Bedingungen schuf und die Arbeit des FI großzügig finanzierte.

Zwischenlager für Mineralische Baurestmassen – Part of EcoRoads

Franz Lecker, ÖBA- Österreichische Betondecken Ausbau GmbH

Johannes Horvath, Lafarge Zementwerke GmbH

Motivation

Im Merkblatt *“Zwischenlager für mineralische Baurestmassen, Asphaltaufbruch und Betonrestmassen“*, Stand Jänner 2006, vom Österreichischen Baustoff- Recycling Verband wird für die befahrbare Dichtfläche ein flexibler Standardaufbau mit einer 4 cm dicken Asphaltdichtschichte und einer 10 cm dicken bituminösen Tragdeckschichte vorgegeben.

Für den Aufbau sind in dem Merkblatt weder eine strukturelle rechnerische Lebensdauer (Nutzungsdauer) noch die zulässige Verkehrsbelastung angeführt. Hinsichtlich der Dichtfläche fehlen des Weiteren grundlegende Annahmen insbesondere in Bezug auf die Berechnung der maßgeblichen Verkehrsbelastung und entsprechende Anforderungen an die Mindesttragfähigkeit am Unterbauplanum. Gemäß der für die Bemessung von (Straßen-)Oberbauten maßgeblichen RVS 03.08.63 ist daher für diese Flächen jedenfalls eine gesonderte Bemessung vorzunehmen.

Eine alternative Ausführung z.B. in starrer Bauweise mit Betondecke ist nicht angeführt. Hier wird nur der Hinweis gegeben, dass der Nachweis der Gleichwertigkeit zu führen ist.

Bei diesem Projekt wurde nun ein neuer Ansatz verfolgt, um verschiedene Aufbauten technisch vergleichen zu können und um eine Abschätzung der Nutzungsdauer nachweislich zu führen (System).

Im Speziellen wurde in diesem Pilotprojekt eine Alternative Ausführung der Dichtfläche durch die Verwendung von Beton anstatt Asphalt (BTD + AB11 – Dichtasphalt) eingesetzt. Starre Flächen haben zudem den entscheidenden Vorteil, dass mechanischer Abrieb an der Dichtflächenoberseite zB durch Baggerschaufeln stark minimiert werden kann und so eine „Schutzauflage“ als Verschleißschutz nicht mehr notwendig ist.

Univ. Prof. R. Blab von der TU Wien wurde vom Forschungsverein Ecoroads beauftragt, eine vergleichende Studie für die Dichtfläche des Recycling Center Retznei zu erstellen. Es soll ein rechnerischer Nachweis für die strukturelle Lebensdauer von 30 Jahren (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit) von zwei Oberbauvarianten der Dichtfläche in flexibler und starrer Bauweise unter Berücksichtigung der maßgeblichen Verkehrsbelastung und der regionalen klimatischen Gegebenheiten geführt werden. Zusätzlich wird die Gefahr von Frosthebungen unter Berücksichtigung der vorgesehenen Dicken für den frostsicheren Oberbau auf Grundlage von Frosteindringungsberechnungen

untersucht. Darauf aufbauend wurden anhand einer Lebenszykluskostenanalyse LCCA die Wirtschaftlichkeit dieser Aufbauten bewertet werden.

Das Pilotprojekt verfolgt letztlich das Ziel zur Erfüllung der Bauproduktenverordnung anhand einer Lebenszyklus-Analyse und der Nachweisführung der Dauerhaftigkeit über 30 Jahre Nutzungsdauer. In Abbildung 1 sind beide Varianten dargestellt.

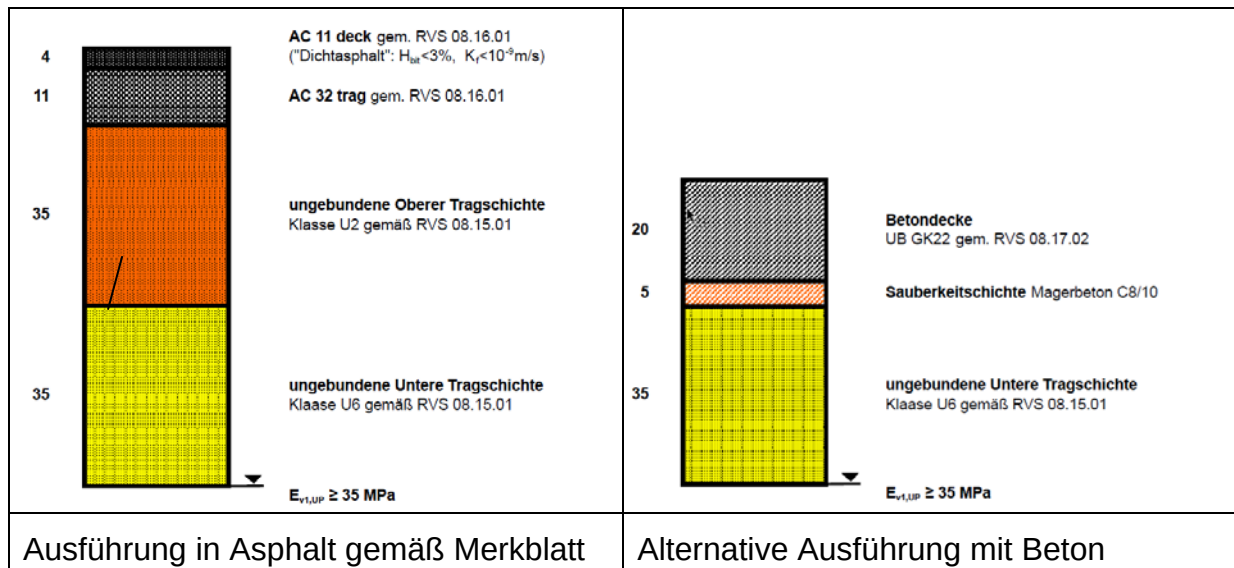


Abbildung 1: Standardaufbau Asphalt versus Alternative aus Beton

Methode

Das Projekt wurde komplett mit moderner Gleitschalungstechnologie hergestellt. Zur Ermittlung von Grundlagendaten für die neuen Berechnungsmodelle im Projekt EcoRoads wurden vorab Sensoren zur Messung der Deformationen vom Institut für Verkehrswesen – Forschungsbereich für Straßenwesen der TU Wien (Prof. Blab, Dr. Eberhartsteiner) installiert (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Instrumentierung zur Messung der Deformationen

Die Herstellung der Betonfläche mittels Gleitschalungsfertiger erfolgte in Linien mit einer Breite von 5 m (siehe Abbildung 3). Ungefähr 6 Stunden danach wurden die Scheinfugen, ebenfalls im Abstand von 5 m geschnitten.



Abbildung 3: Einbau in Linien mit einer Breite von 5 m im Pilgerschrittverfahren

Als nächster Arbeitsschritt wurde die Mulde und die Jersey Wand errichtet (siehe Abbildung 4 + 5).



Abbildung 4: Herstellen der Mulde



Abbildung 5: Herstellen der Absturzsicherung (Jersey-Wand)

Letzter Arbeitsgang zur Herstellung einer dichten Betonoberfläche war das Verschließen der Fugen. Hierzu wurde die Scheinfuge mittels Stufenschnitt aufgeweitet, ein Fugenband eingelegt und mittels dauerelastischer Vergussmasse verfüllt (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6: Dauerelastische Fugenabdichtung

In den Abbildungen 7 und 8 ist die fertige Industriefläche ersichtlich.



Abbildung 7: Fertige Betonfläche



Abbildung 8: Beginn der Nutzung

SPURWEGE IM LÄNDLICHEN STRASSENNETZ UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER BETONBAUWEISE



Das österreichische ländliche Straßen- und Wegenetz dient abseits der übergeordneten Straßen der Feinerschließung des ländlichen Raumes und beinhaltet in erster Linie Gemeindestraßen genauso wie auch Forstwege. Die Gesamtlänge des ländlichen Straßen- und Wegenetzes beträgt rd. 160.000 km und stellt damit einen Anteil von rd. 80% am Gesamtstraßennetz in Österreich dar. Die Verantwortung und Zuständigkeit für Bau und Erhaltung dieser Anlagen tragen private Interessentengruppen und die jeweiligen Gemeinden. In diesem Spannungsfeld wurde unter Berücksichtigung spezieller Gegebenheiten die bestehende Planungsrichtlinie RVS 03.03.81 Ländliche Straßen und Güterwege überarbeitet, wobei auch



die Richtlinienwerke der benachbarten Länder entsprechend berücksichtigt wurden. Auf der Grundlage dieser Planungsrichtlinie wurde die Richtlinie RVS 03.03.82 Spurwege erarbeitet. Der vorliegende Beitrag behandelt schwerpunktmäßig diese Richtlinie sowie das ÖBV - Merkblatt Betonspurwege und zeigt damit einen neuen und innovativen Zugang zur Lösung von Aufgabenstellungen im Rahmen des Neubaus und der Erhaltung von ländlichen Straßen

und Wegen in Österreich.

Spurwege sind typischerweise Verkehrsflächen zur Feinerschließung des ländlichen Raumes. Der große Anwendungsbereich umfasst den Bereich von ländlichen Straßen und Wegen mit geringerer Verkehrsbedeutung gemäß RVS 03.03.81, also z.B. der Erschließung von land- und forstwirtschaftlichen Flächen und Einzelgebäuden sowie Hofzufahrten. Spurwege sind grundsätzlich für alle Fälle von ländlichen Straßen und Wegen mit geringerer Verkehrsbedeutung geeignet. Sie finden häufig auch Anwendung im Bereich der ländlichen Neuordnung sowie als Begleitwege zu höherrangigen Straßen, zu Eisenbahntrassen, für die Erschließung von kommunalen Infrastruktureinrichtungen und im Natur- und Landschaftsschutz. Der vorliegende Kurzbeitrag umfasst inhaltlich die grundsätzlichen Entscheidungsebenen, die Festlegungen betreffend den Regelquerschnitt, spezielle Querschnittsgestaltungen, Entwässerungsanforderungen sowie die standardisierte Oberbaudimensionierung von Spurwegen.

Ökobilanz verschiedener Ausbauvarianten von Güterwegen

Thomas Kägi, *Carbotech AG, Zürich*

Zusammenfassung

Diese Studie ermittelte den Umweltfussabdruck von drei verschiedenen Wegtypen über deren gesamten Lebenszyklus im Auftrag vom VKB Aargau und der IG Betonstrassen. Die Zielsetzungen sind die folgenden:

- Es soll der Umweltfussabdruck der drei Güterwege Betonspur-, Kies- und Schwarzbelagweg ermittelt werden mittels der Methode der Ökobilanzierung.
- Nebst der Ermittlung des Umweltfussabdrucks sollen auch die Lebenszykluskosten der drei Güterwege ermittelt werden.

Da in steilerem Gelände der Unterhalt von Wegen aufgrund von Erosion steigen kann, berücksichtigt diese Studie nebst einer Variante für eher flaches Gelände eine Variante für steileres Gelände mit einer höheren Erosionsklasse. Für einen sinnvollen Vergleich der betrachteten Güterwege wurde als funktionelle Einheit 1 Laufmeter (lfm) Weg mit 3 Meter Nutzbreite über 60 Jahre definiert.

Der Ökobilanzvergleich der drei Güterwege zeigt, dass der Betonspurweg die umweltfreundlichste Option ist sowohl in der Erosionsklasse 2 wie auch in der Erosionsklasse 4. Dabei erweist sich die lange Lebensdauer und die damit einhergehenden geringen Unterhaltsarbeiten als wesentlicher Vorteil im Vergleich zu den anderen beiden Güterwegen. Zwischen dem Kiesweg und dem Schwarzbelagweg besteht kein Unterschied hinsichtlich des Umweltfussabdrucks. Der Betonspurweg weist ähnliche tiefe Lebenszykluskosten auf wie der Kiesweg. Die Herstellung ist zwar wesentlich teurer. Dies wird jedoch wieder wettgemacht mit relativ tiefen Unterhaltskosten. Merkllich höher sind die Kosten für einen Schwarzbelagweg.

Trotz der aufwändigen Herstellung ist der Betonspurweg dank seiner Langlebigkeit und der damit verbundenen geringen Unterhaltsarbeiten somit eine aus Umwelt- und Kostensicht sinnvolle Variante bei der Erstellung von Erschliessungswegen sowohl in der Erosionsklasse 2 wie auch in der Erosionsklasse 4.

Für schwach befahrene Güterwege ist der Umweltfussabdruck der Weginfrastruktur etwa eineinhalb bis drei Mal höher als der Umweltfussabdruck durch den eigentlichen Verkehr. Für umweltbewusste Auftraggeber ist die Wahl der Ausbauvariante von Güterwegen also ein relevanter Entscheid.

Mapecrete System: Fugenlose, schwindkompensierte Industriefußböden

Herkömmliche Industriefußböden müssen in Feldern von 8x8m geschnitten werden, um Schwindrisse zu vermeiden. Mapecrete System erweitert die Feldgrößen auf 48x48m.

Möglich wird diese technologische Neuerung bei Industriefußböden indem die Schwindung des Betons deutlich minimiert wird. Normaler Beton (zB: C30/37 B2 GK22) schwindet in einem halben Jahr zirka 0,5 Promille – das sind 500µm pro Meter.

Die Ursachen dafür sind:

Plastisches Schwinden – durch Verdunstung von Wasser

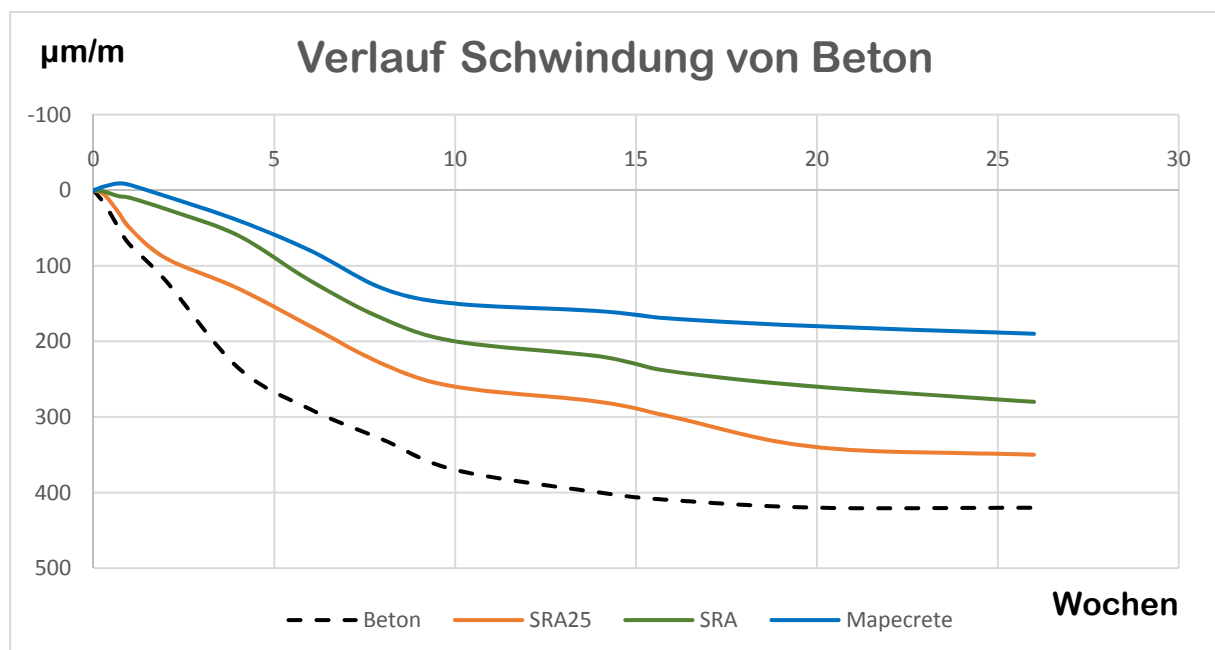
Autogenes Schwinden – Kapillarkräfte im Zuge der Hydratation des Zements

Chemisches Schwinden – Ausgangsstoffe haben mehr Volumen als der Beton

Thermisches Schwinden – Hydratationswärme am Beginn der Aushärtung

Durch den Zusatz von einem Schwindreduzierer kann das autogene Schwinden minimiert und dadurch dieser Wert auf 250-400µm/m gesenkt werden.

Beim kombinierten Einsatz von einem Schwindreduzierer mit einem Expansionsmittel (= Mapecrete System) kann durch einen synergistischen Effekt in den ersten Wochen eine Expansion des Betons erreicht werden. Danach tritt erst eine Schwindung ein. Diese ist in Summe wesentlich geringer als bei marktbekannten Produkten bzw. Systemen und liegt bei 0,1 bis 0,2 Promille bzw. 100-200µm/m. Als weiterer Vorteil tritt die Schwindung erst nach mehreren Wochen ein, wenn der Beton bereits wesentlich Festigkeit hat und damit Zugkräfte viel besser aufnehmen kann. Damit treten deutlich weniger bis gar keine Risse auf.



Dies erlaubt daher viel größere Felder ohne Fugen. 48x 48m sind möglich.

Industriefußböden mit Mapecrete System eignen sich optimal für Lagerhallen und Produktionsflächen mit hohen Anforderungen an Rissfreiheit und Optik in

fugenloser Ausführung. Der Einsatz des Systems auf Betonstraßen, Flugfeldern und Parkdecks bringt deutliche Vorteile in der Dauerhaftigkeit. Im Estrichbereich können besonders hohe Spezifikationen der Ebenheit erfüllt werden (keine Schüsselung).

Das Mapecrete System ist perfekt für Autohäuser oder Verkaufsflächen - vor allem mit nachträglicher Beschichtung - sowie für besonders hohe ästhetische Anforderungen, wo eine Fuge in der Fläche stört.

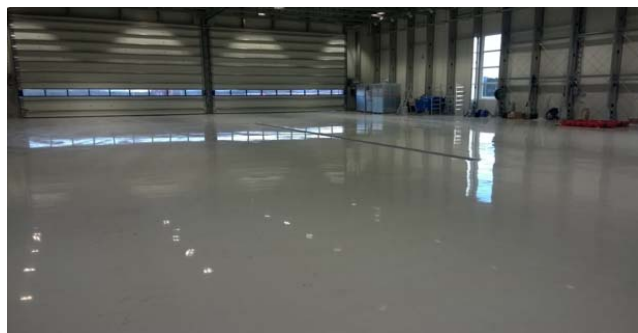
Auch bei besonders dichtem Beton, z.B. bei Kläranlagen oder Beton-Wasserbehältern, ist das Mapecrete das System der Wahl.

Beim Einbau, beim Schleifen der Oberflächen, bei der Einstreuung von Hartstoffmörtel oder bei der weiteren Beschichtung des Betons entstehen keine Nachteile, sondern das System erleichtert diese Prozesse durch die fugenlose Ausführung.

Vom Mapecrete System wurden seit 2012 schon mehrere 100.000m³ Beton in vielen Ländern Europas verarbeitet und die Vorteile der Schwindkompensation haben sich in der Praxis bewährt (Referenzliste).



Lagerhalle in Deutschland



Flugzeughangar mit Beschichtung

DURANT® – Beton für monolithische Platten

DI Christoph Ott, Baustofftechnik GmbH



Einleitung

Der Beton für monolithische Bodenplatten muss für den Einbau spezielle Anforderungen erfüllen. Essenziell für ein wirtschaftliches Arbeiten ist ein möglichst rascher Glättbeginn. Bei der Herstellung von Monobeton spielt die Auswahl der richtigen Komponenten eine große Rolle. Besonders die Wahl des Fließmittels hat einen starken Einfluss auf die Eigenschaften des Betons. Der Beton DURANT® wurde speziell für diese Anforderungen entwickelt und liefert den Bodenlegern durch die Produktion im Werk ein geprüftes Produkt mit gleichbleibender Qualität.

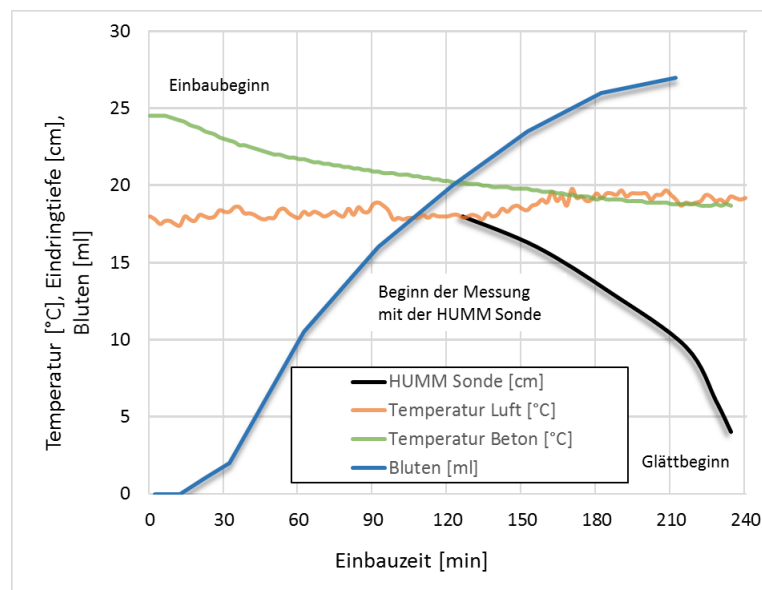
Was macht den DURANT® einzigartig?

Gegenüber den bisher am Markt erhältlichen Betone für Bodenplatten kombiniert der DURANT® durch das neu entwickelte Betonrezept sowie das in Kombination abgestimmte Zusatzmittel auf Naphthalin-Basis die positiven Eigenschaften eines Betons mit Fließmittel auf PCE Basis und die eines Fließmittels auf Naphthalin Basis.

Betontechnologie und Versuchsergebnisse

Im Zuge der Entwicklung wurde im Testgebiet Steiermark bei Probebaustellen die Betonrezeptur optimiert. Darüber hinaus werden mit Versuchen im Labor und in-situ mit Hilfe der HUMM-Sonden Messung das Ansteifverhalten, mit einem Temperaturmessgerät die Wärmeentwicklung des Betons und mit Hilfe der Blutprüfung mit dem Bluttopf das Bluten gemessen und dokumentiert.

Durch die neu entwickelte Betonrezeptur mit einem auf Naphthalin basierendem Zusatzmittel wird eine gleichmäßige Zementhydratation erreicht und das Ansteifen des Betons findet stetig über den gesamten Querschnitt statt. Daraus ergibt sich ein homogenes Betongefüge, welches die Bildung einer Elefantenhaut¹ reduziert. Durch den geringen Konsistenzverlust während des Einbringens verlängert sich die mögliche Einbauzeit. Es findet auch bei erneutem Einbringen von



Gratik 1: Probebaustelle: Temperaturverlauf, Eindringtiefe und Bluten
Energie durch den Glättvorgang keine Nachverflüssigung des Betons in den unteren Schichten statt.

¹ Elefantenhaut: Durch die Austrocknung an der an der Betonoberfläche entsteht eine scheinbar feste Schicht, obwohl der Beton darunter noch plastisch ist. Dies kann dazu führen, dass der Zeitpunkt der möglichen Glättbeginns falsch eingeschätzt wird.

Laufende Versuche auf der Baustelle haben ein kontrolliertes Bluten bis zum Glättbeginn bestätigt, welches dem jungen Beton Schutz vor dem Austrocknen an der Oberfläche bietet und der Hartkorneinstreuung einen Teil der für die Hydratation erforderlichen Wassermenge zur Verfügung stellt.

Blutprüfung nach ONR 23303: 2010

Die Blutprüfung nach ONR 23303: 2010 erfolgt in einem festen zylindrischen Gefäß mit einem Innendurchmesser von (250 ± 10) mm und einer Innenhöhe von (280 ± 10) mm. Die Innenfläche des Zylinders muss glatt und frei von Korrosion, Beschichtungen oder Schmiermitteln sein. Der Beton wird mit Hilfe eines Rütteltisches ausreichend verdichtet. Mit der Pipette oder einem ähnlichen Gerät ist das auf der Oberfläche angesammelte Wasser während der ersten 40min in Abständen von 10min und danach in Abständen von 30min abzuziehen, bis das Bluten beendet ist. Danach ist das gesammelte Wasser in einen Messzylinder zu füllen und in kg/m^3 umzurechnen und anzugeben.

Messung mit der HUMM-Sonde

Durch die Messung mittels der HUMM-Sonde kann der Verlauf des Ansteifens des jungen Betons geprüft werden. Die HUMM-Sonde besteht aus einem Stahlstift und einem genormten Fallgewicht. Bei Messbeginn wird die Spitze des Stahlstiftes 5mm in den Beton gedrückt. Danach lässt man das Gewicht 25mal vom oberen Ende fallen. Die zusätzliche Eindringtiefe kann abgemessen werden.

Einfluss auf den Beginn des Glättens

Da die Bodenplatte von Beginn an kontinuierlich ansteift, ist der Beginn des Glättens besser vorhersehbar. Mittels Prüfungen vor Ort mit der HUMM-Sonde lässt sich die Eindringtiefe bestimmen und so der mögliche Glättbeginn feststellen. Erfahrungswerte zeigen, dass man je nach Gewicht des eingesetzten Glättgerätes bei einer Eindringtiefe von 4,5cm bis 3,5cm mit dem Glätten beginnen kann.

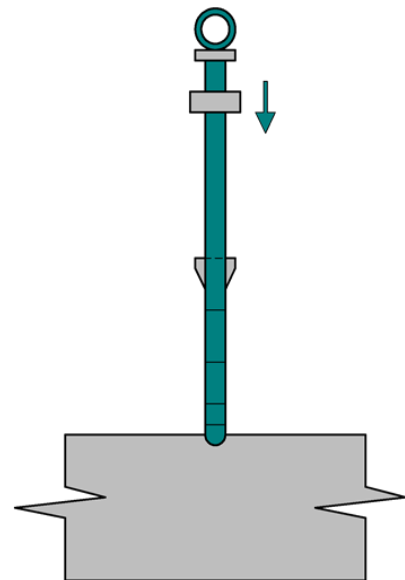


Abb.1: HUMM-Sonden Prüfung

Durch weiterführende Dokumentation der Randbedingungen (Frischbetontemperatur, Lufttemperatur, Konsistenz und Plattendicke) und der Dauer bis zum Glättbeginn, soll eine Datenbank erstellt werden aus welcher der Bodenleger bei Einbaubeginn den möglichen Start des Glättens ableiten kann.

Planung einer neuen Strahlenkammer für das Atominstitut Wien

DI Dr. Helmut Zehentner, Fröhlich & Locher und Partner ZT GmbH, Wien

DI Gerald Maier, Smart Minerals GmbH, Wien

DI Wilfried Mach, Atominstitut, Wien

Einleitung und Aufgabenstellung

Das Atominstitut betreibt seit 1962 einen Forschungsreaktor am Standort in der Stadionallee, 1020 Wien. Für den Neubau einer Versuchskammer wurde die Firma Fröhlich & Locher und Partner ZT GesmbH mit der Planung der „Strahlenkammer“ beauftragt. Betontechnologisch wurde das Projekt durch die Smart Minerals GmbH begleitet. Herausforderung war die Entwicklung einer optimalen Betonrezeptur für Strahlenschutz-Schwerbeton der Betonsorte C25/30(56)/F38/XC1 unter Verwendung von Spezialgesteinskörnungen für eine möglichst hohe Abschirmwirkung gegenüber ionisierter Strahlung (γ - und n-Strahlung).

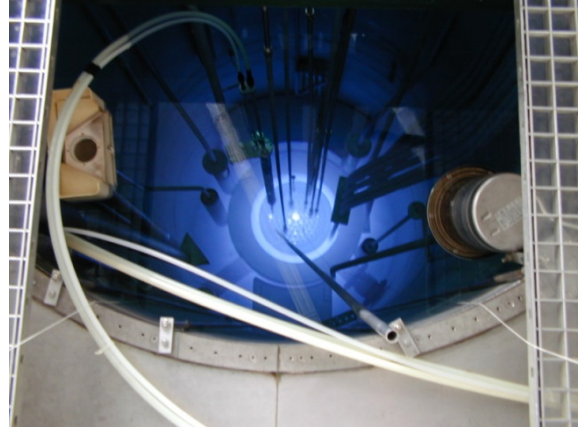


Abb. 1: Tscherenkow-Strahlung im Forschungsreaktor: Äußerung der augenblicklichen Radioaktivität der Spaltprodukte im Kernbrennstoff (und damit der Reaktorleistung)

Planung

Die Strahlenkammer sollte nach Vorgabe des Atominstituts folgende Aufgaben erfüllen:

- Gute Abschirmwirkung
- „einfache“ Rückbaubarkeit
- Flexibilität in der Wandstellung für verschiedene Versuchskonfigurationen



Abb. 2: Fertiggestellte Strahlenkammer (rechts) im typischem „Hämatit-rot“ des Schwerbetons

Auf Grundlage dieser Anforderungen wurde eine Kammer aus Fertigteilen mit Schwerbeton geplant.

Betonausgangsstoffe

Der Beton sollte γ -Strahlung sowie Neutronenstrahlung so gut wie möglich abschirmen um die gesetzlichen Dosisgrenzwerte für die Mitarbeiter des ATI einhalten zu können. Eine Abschirmung gegen γ -Strahlung kann über eine hohe Rohdichte und/oder große Dicke des Betons erreicht werden. Je höher die Rohdichte des Betons desto geringer ist die erforderliche Wandstärke. Die Abschirmung von Neutronenstrahlung gestaltet sich schwieriger, da man hier zwischen schnellen und langsamen Neutronen unterscheidet. Schnelle Neutronen sind für den Menschen gefährlicher da sie mehr Energie und somit eine höhere Dosis besitzen. Deshalb müssen schnelle Neutronen mittels Moderatormaterial (z.B. Wasser) abgebremst werden. Langsame Neutronen lassen sich dann durch die Verwendung von bestimmten Materialien wie z.B. Bor, Lithium oder Cadmium problemlos absorbieren.

Folgende Gesteinskörnungen wurden daher für die Herstellung des Schwerbetons ausgewählt:

- Hämatit Absieberz 0/6 mm: γ -Strahlenschutz durch hohe Korndichte
- Hämatit Absieberz 6/25 mm: γ -Strahlenschutz durch hohe Korndichte
- Serpentin Sand 0/4 mm: Schutz gegen schnelle freie Neutronen, Moderation durch chemisch gebundenes Wasser (Kristallwasser)
- Serpentin Kantkorn 4/8 mm: Schutz gegen schnelle freie Neutronen, Moderation durch chemisch gebundenes Wasser (Kristallwasser)
- Borcarbid Betonzusatz ≤ 1 mm: Absorption der thermischen Neutronen

Rezepturoptimierung und Herstellung der Fertigteile

Die Betonzusammensetzung, im Besonderen die Zusammensetzung der Gesteinskörnung, ergab sich aus Erfahrungswerten und den in der Literatur empfohlenen Mengenverhältnissen für die Abschirmung verschiedener Arten von ionisierter Strahlung. Mit dieser Zusammensetzung wurden dann die für die geforderte Expositions- und Festigkeitsklasse relevanten Kennwerte eines der ÖNORM B 4710-1 entsprechenden Betons (Druckfestigkeit, W/B-Wert, und Konsistenz) sowie die Festbetonrohddichte an 4 unterschiedlichen Rezepturvarianten überprüft.

Die Frischbetonrohddichten lagen zwischen 3400 und 3450 kg/m³. Die Prüfung des Festbetons ergab Druckfestigkeiten nach 56 Tagen von 55 - 71 N/mm² bei Festbetonrohddichten von 3350 – 3450 kg/m³.

Die Berechnung der Bauteiltemperaturen während der Hydratation ergaben für 70 cm Wandstärke bei Verwendung des CEM I - Zements 40,4 °C und bei Verwendung des CEM III - Zements 33,3 °C. Aufgrund der ausreichend hohen Festigkeiten wurde für die Herstellung der Fertigteile die Rezeptur mit CEM III Zement und dem geringeren Bindemittelgehalt gewählt.



Abb. 3: Oberfläche der Fertigteile nach Montage am ATI

Die Abschirmwirkung des hergestellten Betons wurde mit Hilfe von Probeplatten in einer Simulation getestet. Dabei zeigt der Schwerbeton eine um 55 % verringerte Anfangsdosisleistung. Dies ist auf die Absorption von Neutronen durch im Beton vorhandenes Bor und die verbesserte Abschirmung von Gammastrahlung durch die höhere Dichte des Betons zurückzuführen. Zusätzlich wird im Normalbeton mehr hochenergetische Gammastrahlung erzeugt welche zusätzlich durch die geringere Dichte schlechter abgeschirmt wird.

Um an das Limit der Dosisleistung von 5 μ Sv/h heranzukommen, wird ca. 10 cm borierter Schwerbeton oder ca. 20 cm Normalbeton an dieser Stelle an der diese Simulation gemacht wurde benötigt. An exponierteren Stellen sind die nötigen Waddicken doppelt so groß. Der Schwerbeton ermöglicht also verbesserte Abschirmwirkung für γ - und Neutronenstrahlung bei deutlich geringeren Wandstärken.

Cooperative Leichtbeton

„Abrisse von Zementleim an Oberflächen von Leichtbeton- Sichtbeton“

Seitens des Marktes wird zunehmend der Wunsch nach mineralischen, nicht mit Kunststoffen gedämmten oder eingepackten Außenwänden geäußert. Der Trend keinen Sondermüll produzieren und möglichst wenige Schichten verwenden zu wollen, hat dazu geführt, dass der Ruf nach einer monolithischen Wand immer stärker wurde. Ausgehend von der Schweiz über Deutschland bis nach Österreich steigt die Nachfrage nach solchen Wänden aus einem Guss. Leichtbeton ist dafür die einzige Lösung, weil man sonst die thermischen Anforderungen nicht erfüllen kann. Der Trend geht auch zunehmend in die Entwicklung solcher Baustoffe, wobei man dabei natürlich sehr schnell an die Grenzen der Physik stößt. Mittlerweile gibt es einige herausragende Beispiele- auch in Österreich- und sie haben einen gemeinsamen zufriedenen Kunden. Dies vor allem auch, weil man sich mit diesem Entschluss von Althergebrachtem und Bekanntem entfernt und dies seitens des Bauherrn eine höhere Toleranz gegenüber den erzielten Ergebnissen verlangt, als es bisher vielleicht gängig ist.



Haus Daniela Tomaselli

Nach mehreren Jahren an Erfahrungen und vielen Baustellen kann man doch ein Kernthema herausgreifen, das übergreifend immer wieder aufgetaucht ist und- wie bekannt auch bei anderen Betonen- immer wieder für Diskussionsstoff sorgt: Die Qualität von Sichtbetonflächen. Erschwerend kommt bei diesen monolithischen Gebäuden hinzu, dass beim Entfernen der Schalung ein fertiges Produkt am Rohbau steht, welches nicht nur in dem Moment gut sein soll, sondern auch bis zum Ende der Baustelle gut bleiben soll!

Der für monolithische Wände geeignete Leichtbeton hat nur rund ein Drittel bis die Hälfte des spezifischen Gewichts von Normalbeton. Um die gleiche

Verdichtungsenergie zur Erzielung eines dichten Gefüges einzubringen, bedarf es daher logischer Weise schon einmal rund der doppelten Tauchstellen eines Flaschenrüttlers, auch bei einem Ausbreitmaß von 52 cm. Dazu muss es auch die entsprechenden Einfüllöffnungen



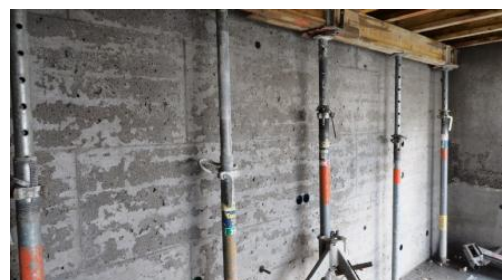
Baustelle Haus Wolfgang Schmieder

geben und bei dem Bestreben fugenlos bleiben zu wollen, braucht es Durchführungen durch Fensteröffnungen, um den Beton einbringen und verdichten zu können. Dies wiederum setzt eine gute Planung voraus.



Musterfläche Baufirma Schütz

Es hat dazu geführt, dass beim Entfernen der Schalung der Zementleim an der Oberfläche der Schalung kleben geblieben ist und zu unerwarteten Oberflächen geführt hat. Naheliegender ist der Schluss, dass es mit dem Schalöl in Zusammenhang stehen könnte, wiewohl der Wechsel des Schalöls und verschiedene Abstimmungsversuche keine zuverlässigen Verbesserungen erbracht haben.



Wand im Obergeschoss Baustelle Wolfgang Schmieder

Nach eingehender Betrachtung konnte festgestellt werden, dass es vorrangig auf Flächen an der Stellseite, also jener Schalung, die als erste aufgestellt wurde, auftrat. Naturgemäß ist der Zeitabstand von der Schalöl- Aufbringung bis zum Betonieren bei der Stellschalung am größten. Eine Besonderheit der monolithischen Wand ist, dass meist auch die Verlegung von diversen Leitungen der Haustechnik in der Schalung erfolgen muss, was wiederum eine Erhöhung des Zeitabstandes bewirkt.

Aktuelle Erfahrungen an zwei Baustellen haben dazu geführt, die F&E Abteilung der Firma DOKA, namentlich Frau DI(FH) Daniela Ehrenreich, darum zu bitten, eventuelle Zusammenhänge an Hand einiger, kleinmaßstäblicher Tests erkennbar und reproduzierbar zu machen. Gemeinsam mit Lafargeholcim, Hrn. Harald Sommer wurden im Werk der Firma Doka in Amstetten diese Tests erstmalig durchgeführt. Dabei wurden folgende Rezepturen und Ausgangsstoffe verwendet:

Mit der Leichtgesteinskörnung Liapor NW-1/8, 390 kg Zement, und einem wirksamen Bindemittelgehalt von 0,43 und einem, auf das Luftporenmittel abgestimmten Fließmittel der Firma Mapei, wurde ein Leichtbeton mit



einer Frischbetonrohddichte < 1100 kg/m³, einem Ausbreitmaß von 53 cm und einer 28 Tagefestigkeit von über 10 N/mm², in einem Zwangsmischer vermengt. Nach der Einbringung wurde jeder Probekörper mit Hilfe einer Rüttelmaschine auf die gleiche Art und mit der

gleichen Energie verdichtet.

Das Prüfprogramm

Zur Prüfung gelangten zwei unterschiedliche Schalhauttypen, nämlich Doka 3SO (Dreischichtplatte), sowie Doka Xlife (Mehrschichtplatte mit Kunststoffbeschichtung). Diese Platten wurden mit zwei Trennmitteltypen kombiniert – Doka Trenn als mineralöl-basiertes Trennmittel mit Additiven und Doka Optix als wässrige Trennmittелеmulsion.

Zudem wurden die Aspekte einer unterschiedlichen Historie zwischen Stell- und Schließschalung durch eine

siebentägige Freibewitterung der vorbereiteten Schalungsplatten bzw. durch Eintrennen der Platten kurz vor dem Betonieren mit einbezogen.

Das Ausschalen erfolgte nach 1d bzw. 7d.



Konklusio

Sowohl Plattentyp und Art des Trennmittels bzw. die Kombination dieser beiden Faktoren, als auch Zeitpunkt des Trennmittelauftrags beeinflussen das Ergebnis der Sichtbetonfläche. So konnte für diese Betonrezeptur unter genau diesen Bedingungen ermittelt werden, welche Kombination die besten Resultate erzeugt. Durch die Erkenntnisse, die aufgrund des Versuches getroffen werden konnten, bestärkt, ist eine Fortsetzung des Versuches im Herbst / Winter 2017 mit gleichem Versuchsaufbau geplant, um einen weiteren Einflussfaktor – die (Außen-)Temperatur mit einbeziehen zu können.

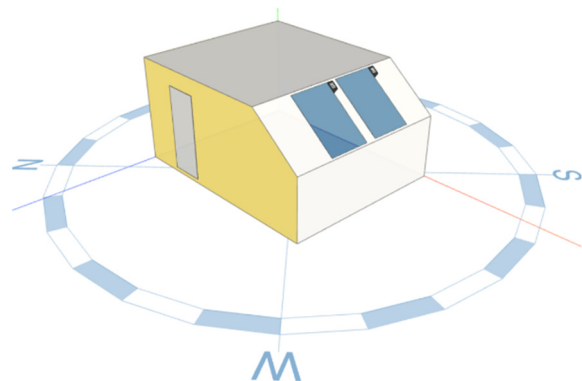
Sommerlicher Wärmeschutz

DDI Dr. Joachim N. Nackler, Prof. DI Dr. Klaus Kreč
TU Wien, Fakultät für Architektur und Raumplanung

Das thermische Verhalten von Räumen während hochsommerlicher Hitzeperioden ist aufgrund des derzeit ablaufenden Klimawandels zu einem zentralen Thema der Bauplanung geworden. Die Temperaturentwicklung in einem Raum im Sommer wird von einer Vielzahl von Einflüssen, wie z. B. dem Gebäudestandort, der Orientierung der Fassaden, der Bauweise, der Art und Größe von Fenstern, der Art und dem Einsatz von Verschattungseinrichtungen, der Raumnutzung, der gewählten Lüftungsstrategie, etc. bestimmt. Die derzeit – auch in Normen – überwiegend verwendeten Näherungsverfahren zur Beurteilung der Sommertauglichkeit von Räumen vermögen das hoch komplexe Zusammenspiel der Vielzahl an Einflüssen nicht genügend genau zu erfassen und können somit die erforderliche Planungssicherheit nicht garantieren. Eine genügend genaue Erfassung des Zusammenspiels der Einflüsse auf das sommerliche Raumverhalten ist heute nur mittels thermischer Gebäudesimulation möglich. Dieses durchaus vorhandene Potential wird allerdings derzeit aufgrund der schwierigen Bedienbarkeit und der Kosten von Simulationsprogrammen insofern nicht ausgeschöpft als die Simulation Spezialfachleuten vorbehalten bleibt und nur bei größeren Bauvorhaben eingesetzt wird.

In der im heurigen Jahr von J. N. Nackler an der Fakultät für Architektur und Raumplanung der TU Wien abgeschlossenen Dissertation wird ein Weg zur Verbesserung dieser unbefriedigenden Situation aufgezeigt. Als wesentliches Ergebnis der Dissertation liegt mit Thesim 3D eine Programmoberfläche für ein thermisches Simulationsprogramm vor, die intuitiv mit wenig Aufwand zu bedienen und auf die Arbeitsweise von BauplanerInnen abgestimmt ist. Thesim 3D ist dabei nicht nur eine Eingabeoberfläche sondern steuert auch das Simulationsprogramm und zeigt unmittelbar nach Aufforderung die Ergebnisse der Simulation am Bildschirm an. Das Simulationsprogramm verwendet den sog. „periodisch eingeschwungenen“ Berechnungsansatz, der u. a. der für Sommertauglichkeitsnachweise zuständigen österreichischen Norm ÖNorm B8110-3 entspricht. Dieser Berechnungsansatz hat den großen Vorteil, dass der Zusammenhang zwischen einer baulichen Maßnahme als Ursache und dem Tagesverlauf der operativen Temperatur als Wirkung auf einen Blick erkennbar ist. Da Thesim 3D kostenlos im Internet zur Anwendung angeboten wird, steht der Allgemeinheit nun ein Planungsinstrument zur Verfügung, mit dem bereits im Vorplanungsstadium das Sommerverhalten eines Raums mit hoher Sicherheit prognostiziert werden kann.

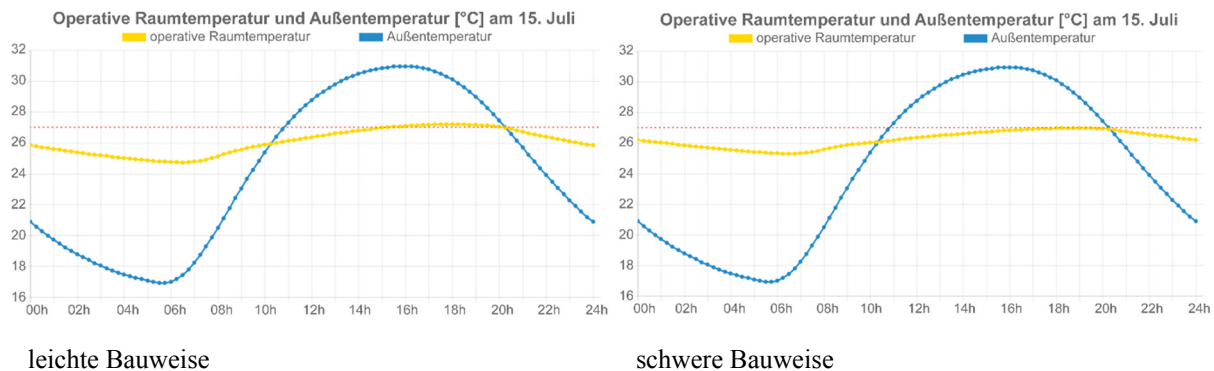
In Hinblick auf das Bauen mit Beton ist zu beachten, dass aufgrund der verwendeten Simulationsalgorithmen die Auswirkung der Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile auf das sommerliche Raumverhalten besonders genau erfasst wird. Als Beispiel für die Beantwortung der Fragestellung nach der Auswirkung der Bauweise auf das thermische Sommerverhalten eines Raums sei ein Dachbodenausbau in Wien, Wieden, betrachtet – siehe das von Thesim 3D generierte Modell.



Als einziger Parameter der Simulation des sommerlichen Raumverhaltens soll die Bauweise variiert werden. In einer Variante sind Fußboden, Decke und Innenwände massiv ausgeführt. Daraufhin wird in einer weiteren Variante für diese Bauteile Holzleichtbau angesetzt. Der für das Sommerverhalten besonders wichtige Fußbodenaufbau ist im Fall der massiven Bauweise

durch 6 cm Zementestrich mit aufgeklebtem Parkettboden gegeben. Im Fall des Holzleichtbaus tritt an die Stelle des Zementestrichs eine 6 cm dicke Schicht aus Anhydridestrich.

Als Ergebnis der Simulationen wird der Tagesverlauf der operativen Temperatur im Raum ausgegeben. Im Fall verstärkter Nachtlüftung und der ganztägigen Verwendung von Außenjalousien ergeben sich folgende Tagesverläufe der operativen Temperatur.



Es zeigt sich, dass die Bauweise die thermischen Verhältnisse im Raum insofern beeinflusst, als die von der ÖNorm B8110-3 vorgegebene Obergrenze der operativen Temperatur von 27 °C bei leichter Bauweise mit einem Maximum von 27,6 °C leicht überschritten wird. Bei schwerer Bauweise wird mit einem Maximum von 27,0 °C diese Grenze gerade erreicht. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Erkenntnis, dass der Tagesmittelwert der Lufttemperatur im Raum mit 26,2 °C unabhängig von der Bauweise ist.

Als Empfehlung folgt aus diesem Ergebnis, dass in einem ersten Schritt die Fenster und die Verschattungseinrichtungen derart zu planen sind, dass der Tagesmittelwert der Temperatur deutlich unter 27 °C zu liegen kommt. Erst in einem zweiten Schritt sollte durch Wahl einer geeigneten Bauweise die Tagesschwankung der Temperatur derart reduziert werden, dass die Obergrenze der operativen Temperatur im Tagesverlauf nie überschritten wird.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass Thesim 3D u. a. eine wichtige Stütze für die Entscheidungsfindung in Hinblick auf die Wahl der Bauweise ist und sich als wertvolles Instrument zur Entwicklung zukunftsgerichteten Planens und Bauens positionieren wird. Thesim 3D steht unter der Webadresse **www.thesim.at** zur Benützung bereit.

3D-Drucken mit Beton – Potentiale in der Architektur

Daniel Weger, Christoph Gehlen

In vielen Industriezweigen kommen additive Fertigungsverfahren (oft vereinfacht „3D-Drucken“ oder „3DP“ genannt) regelmäßig zur Anwendung. Ursprünglich für den Prototypenbau entwickelt, können additive Fertigungsverfahren mittlerweile für die Produktion von Kleinserien eingesetzt werden. Grundsätzlich wird bei allen 3DP-Verfahren ein 3D-Modell erstellt, welches durch spezielle Programme, sogenannte „Slicer“, entsprechend der geplanten zu produzierenden Schichtdicke in 2D-Ebenen aufgeteilt und anschließend, vergleichbar mit einem 3D-Puzzle, schichtweise wieder zu einem dreidimensionalen Körper zusammengesetzt werden. Für die additive Fertigung kommen im Wesentlichen zwei Verfahren zum Einsatz. Beim Extrusionsverfahren werden Stränge eines formbaren Materials, welches selbstständig erhärten kann, auf- und nebeneinander abgelegt. Bei den selektiv bindenden Verfahren werden dünne Schichten eines Partikelbetts ausgebracht, welches durch eine zweite Komponente lokal verfestigt wird.

Allen Verfahren ist gemein, dass sie keine speziellen Formwerkzeuge oder Schalungen benötigen und die Produktionskosten von der Stückzahl sowie der Komplexität der Bauteile entkoppelt sind. 3DP ist demnach immer dann von Vorteil, wenn Werkstücke in kleinen Stückzahlen und hoher Komplexität zu fertigen sind.

An der TUM wurden bereits beide Verfahrensvarianten im Rahmen von Forschungsarbeiten optimiert und genutzt, um Bauteile aus Beton herzustellen. Bei der Extrusion wird Frischbeton aus einer Düse gefördert. Dabei können große, multifunktionale Elemente in relativ großer Geschwindigkeit hergestellt und auch Sonderbetone wie Holzleichtbeton eingesetzt werden [1]. Bei den selektiv bindenden Verfahren können Betonbauteile auf zwei Arten erstellt werden. So werden entweder dünne Schichten eines Zement-Sand Gemisches ausgebracht, die selektiv durch das Aufbringen von Wasser erhärten (selektive Zementaktivierung) oder es werden dünne Schichten aus Gesteinskörnung mit Zementleim gebunden und so schichtweise das Objekt erzeugt (selektiver Zementleimeintrag) [2, 3, 4]. Der Vorteil hierbei ist, dass Bauteile mit starken Überhängen ohne zusätzliche Stützkonstruktion gefertigt werden können, da das ungebundene Material diese Aufgabe übernimmt. Ferner können Oberflächen mit feiner Auflösung und hoher Oberflächenqualität erzeugt werden.

Diese Eigenschaften machen die 3DP-Verfahren im Bauwesen für die Konstruktion einzigartiger und architektonisch anspruchsvoller Bauteile sehr interessant. Hierbei können auch Formen hergestellt werden, die durch konventionelle Methoden nicht mehr zu realisieren sind. So können schalungsfrei fast beliebige Freiformen erzeugt werden, die z.B. die Konstruktion von bionisch inspirierten Bauteilen ermöglichen, die in ihrer inneren und äußeren Form an den Kraftfluss angepasst sind. Darüber hinaus können die Bauteile multifunktionale Aufgaben übernehmen, indem im inneren der Bauteile Raum für Haustechnik oder zur Wärmedämmung geschaffen wird. So können Bauwerke neben dem Erreichen einer neuen Dimension an architektonischer Freiheit effizienter und schlanker ausgelegt werden sowie zum umweltbewussten und ressourcenschonenden Bauen beitragen.

Literatur

- [1] Henke, K.; Talke, D.; Winter, S.: Additive manufacturing of building elements by extrusion of wood concrete. In Conference proceedings: WCTE 2016: World Conference on Timber Engineering, Vienna
- [2] Lowke, D.; Weger, D.; Henke, K.; Talke, D.; Winter, S.; Gehlen, C.: 3D-Drucken von Betonbauteilen durch selektives Binden mit calciumsilikatbasierten Zementen – Erste Ergebnisse zu beton-technologischen und verfahrenstechnischen Einflüssen. In Tagungsbericht "19. Internationale Baustofftagung", P. D.-I. H.-M. Ludwig, Ed., Weimar
- [3] Weger, D.; Lowke, D.; Gehlen, C.: 3D printing of concrete structures using the selective binding method - Effect of concrete technology on contour precision and compressive strength. In Proceedings of 11th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, Tokyo
- [4] Weger, D.; Lowke, D.; Gehlen, C.: 3D Printing of Concrete Structures with Calcium Silicate based Cements using the Selective Binding Method – Effects of Concrete Technology on Penetration Depth of Cement Paste. In Proceedings of Hipermat 2016 - 4th International Symposium on Ultra-High Performance Concrete and High Performance Construction Materials Kassel. Kassel University Press

Ansprechpartner:

Daniel Weger M.Sc.

cbm – Centrum Baustoffe und Materialprüfung

Technische Universität München (TUM)

Baumbachstraße 7

81245 München

daniel.weger@tum.de

Tel. +49.89.289.27216

Fax. +49.89.289.27064

Innovation Circle: Interdisziplinäre Forschung rund um den 3D Betondruck

Universität Innsbruck & Baunit Beteiligungen GmbH

Dieser Beitrag beschreibt die Entstehung der Forschungsk Kooperation der Universität Innsbruck mit BAUNIT und den Ausblick in die Zukunft.

Als 2012 an der Fakultät für Architektur Industrieroboter angeschafft wurden, wusste noch niemand, dass ein paar Jahre später Beton 3D gedruckt werden sollte. Vorerst galt es neue Möglichkeiten aber auch Limitierungen in Design und Fabrikation zu erkunden. Als wichtiger Meilenstein galt dabei, dass die entwickelte Software für Architekturstudenten leicht bedienbar, modifizierbar sein und Objekte parametrisierbar sein müssten.

Nach gut 2 Jahren konnten erste kleine additiv hergestellte Objekte auf Basis von Schnellzementmischungen realisiert werden und die Entwicklungsaufwendungen wurden deutlich erhöht. Neben Materialanpassungen und Verwendung einer Mörtelpumpe war das Beschleunigen am Düsenkopf ein wichtiges Kriterium um geometrisch komplexere Objekte herstellen zu können.

Durch eine synergetische F&E-Kooperation mit Baunit wurde die Mörtelentwicklung und Systemabstimmung maßgeblich vorangetrieben wobei eine patentierbare Druckdüse, Systemautomatisierung und Softwareentwicklung des „Slicers“ – eine Schnittstelle zur Übersetzung von CAD Modellen in Druckbahnen für den Roboter – stetig verfeinert wurden.

Die Bewehrung von additiv hergestellten Betonbauteilen stellt aktuell eine große Herausforderung dar. Neben der Auseinandersetzung mit konventioneller Stahlbewehrung wurde das „Netzwerk additive Herstellungsprozesse für textilbewehrte Betonbauteile“ geschaffen. Experten aus dem Bereich Textilchemie, Textilphysik, Konstruktion- und Materialwissenschaften sowie Hochbau und Industrie forschen an einem Verbundwerkstoff dessen Tragwirkung auf dem Zusammenwirken von Beton und textiler Bewehrung beruht. Durch den Einsatz von korrosionsbeständigen Carbon- oder AR-Glasfasern, kann die erforderliche Betondeckung reduziert werden und dadurch wesentlich schlankere und leichtere Betonbauteile als bisher üblich realisiert werden.

Der Markteintritt für 3D gedruckte Betonbauteile steht unmittelbar bevor. Im Testbetrieb drucken bereits Firmen mit dem neuen 3D-Baunitator® Drucksystem erste größere Versuchsobjekte und Anwendungen im Bereich Landschafts- und Stadtgestaltung sind in konkreter Planung. Entscheidend wird neben der Akzeptanz der Kunden für eine spezielle Formsprache auch der Wille der Planer und Ausführenden sein, sich den neuen Möglichkeiten zu stellen.



Abb.1. Möglichkeiten für Betonmöbel mit additiver Fertigungstechnik

COEBRO – Additive Fabrication of CONCRETE ELEMENTS BY ROBOTS

Herstellung eines 3D-gedruckten Betonkanus für die Betonkanu-Regatta 2017.

Bei der diesjährigen Betonkanu-Regatta konnte der Beitrag der Technischen Universität Graz „Printess Layer“ den zweiten Platz im Konstruktionswettbewerb erzielen. Das Kanu wurde mittels eines 3D-Druckverfahrens hergestellt. Die Entwicklung und Umsetzung erfolgte in Kooperation mit dem Planungsteam rund um das Forschungsprojekt COEBRO.



In dem grundlagennahen Forschungsprojekt *COEBRO* soll durch ein interdisziplinäres Team aus Architekten, Bauingenieuren, Maschinenbauern und Materialtechnologen die Frage nach dem effektiven und ressourcenschonenden Umgang mit dem Werkstoff Beton unter Einsatz von 3D-Drucktechnik wissenschaftlich aufbereitet werden.

Als Kurzbeitrag zum Kolloquium 2017 kann das für das Betonkanu angewandte 3D-Druckverfahren präsentiert und die Erfahrungen rund um dieses Fertigungsverfahren geteilt werden.

Inhalte des Kurzbeitrages:

- Vorversuche
- Fazit der Vorversuche
- Vorstellung des angewandten 3D-Druckverfahrens
- Geometrieerstellung, Optimierung und Maschinencodgenerierung
- Bewehrung und Nachbearbeitung
- Fazit

Studierende

Fuchs Alexandra, Harmuth Markus, Lanzinger Johann, Loidolt Markus, Luef Matthias, Matzler Dominik, Mlinar Dominik, Ohrnberger Sandro, Pirker Manuel, Rockenschau Elisabeth, Telch Moritz, Valtingoier Marco

COEBRO

Institut für Tragwerksentwurf, Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Institut für Betonbau, ABB AG, HAGE Sondermaschinenbau GmbH & Co KG, Kirchdorfer Fertigteilverteilung GmbH, Peri GmbH, Sika Services AG



Quantz-UHPC: Perspektiven für die Fertigteilindustrie

Dr.-Ing. Thomas Teichmann, G.tecz Engineering GmbH, Kassel, Deutschland

In verschiedenen interdisziplinären Forschungsvorhaben wurden in den letzten Jahren unter Beteiligung verschiedener Firmen, Forschungsinstitute und Universitäten neue Anwendungsmöglichkeiten von UHPC erarbeitet – immer mit dem Augenmerk auf die direkte und gewinnbringende Umsetzbarkeit in die Fertigteiltechnik. Eine Auswahl dieser Projekte sollen im Vortrag vorgestellt werden.

Der Werkstoff kann durch neue Ansätze in seiner stofflichen Zusammensetzung rheologisch und reaktionskinetisch weitreichend beeinflusst werden. Von einem strukturviskosen, ähnlich wie Ton verarbeitbaren, bis hin zu hoch fließfähigen Material mit Setzfließmaßen jenseits der 90 cm, ohne zu entmischen, sind verschiedenste rheologische Eigenschaften einstellbar. Dabei kann der Werkstoff bei Bedarf so beschleunigt werden, dass Ausschalzeiten innerhalb von 1 bis 4 Stunden möglich sind.

Dabei liegt das Hauptaugenmerk neben der Druckfestigkeit insbesondere auf Eigenschaften wie Biegezugfestigkeit, Dauerhaftigkeit, Oberflächenästhetik und Verarbeitungsmethodik.

Beispielsweise wurde für das vom BMWi geförderte Verbundforschungsprojekt TABSOLAR mit Partnern aus Forschung und Industrie eine Basistechnologie zur Herstellung durchströmbarer Bauteile aus UHPC entwickelt, die jedoch auf den Einsatz von Röhreneinlagen völlig verzichtet. Der Werkstoff wurde so adaptiert, dass er im frischen Zustand in einem Vakuumtiefziehverfahren geometriestabil so verformt werden kann, dass durchströmbare Kanalstrukturen oder andere Geometrien ohne großen Schalaufwand erfolgreich hergestellt und getestet werden konnten.



Bild 1: TABSOLAR-Elemente

Weitere Projekte sind beispielsweise das 3D-Rotationsverfahren zur Herstellung filigraner und hochtragfähiger Körper aus UHPC und Technologien zur Herstellung dünnwandiger und hoch tragfähiger Fassadenplatten mit hohen Spannweiten mit Quantz-UHPC mit per se besonders hoher Biegezugfestigkeit, wobei die sonst bei Beton und UHPC übliche Ausblühneigung auf kaum mehr sichtbares Minimum reduziert wurde.

Kooperationslabor Holz-Beton-Fügetechnik

Neue innovative Verbundsysteme für leistungsfähige Deckenkonstruktionen

Die Idee Holz und Beton, zwei an sich konkurrierende Baustoffe, zu einem Verbundsystem zu kombinieren und damit weitgespannte Decken zu errichten, reicht bereits fast 100 Jahre zurück. Durch die Kombination einer Holzdecke mit einer Aufbetonschicht lässt sich zum einen die wirtschaftliche Spannweite einer klassischen Holzdecke vergrößern, andererseits auch die für die Herstellung einer Stahlbetondecke erforderliche Menge an Bewehrungsstahl reduzieren, da die Zugspannungen durch das Holz aufgenommen werden. Gerade aufgrund der technischen Vorteile der Holz-Beton-Verbundsysteme (HBV) stellt sich letztlich allerdings die spannende Frage, weshalb sich diese Systeme am Markt bislang nicht voll durchsetzen konnten.

Bei den derzeit üblichen HBV-Systemen wird der Verbund zwischen dem Holz und dem Beton meist über metallische Verbindungsmittel (Schrauben, Kopfbolzen oder eingeklebte Stahlbleche) oder über geometrische Vertiefungen (Kerven oder Nuten) hergestellt. Diese Systeme haben alle gemein, dass es sich um punkt- oder linienförmige Verbindungsmittel handelt die zunächst in das Holz eingetrieben, eingefräst oder eingeklebt werden müssen, ehe der Aufbeton aufgebracht werden kann. Dies ist ein zusätzlicher arbeits-, zeit- und kostenintensiver Schritt im Herstellungsprozess. Darüber hinaus kann es beim Einbringen des Ortbetons infolge des Feuchteintrags auch zu (optischen) Schäden an der Holzkonstruktion selbst kommen. Die klassisch hergestellte HBV-Decke mit Aufbeton ist darüber hinaus nicht sofort belastbar. Durch die notwendige Aushärte- und Trocknungszeit der Decke verlängert sich die Bauzeit meist zusätzlich, da Ausbaumaßnahmen erst nach Abschluss des Austrocknungsprozesses fortgeführt werden können.

Im Rahmen der ACR-Förderschiene „Strategisches Projekt“ soll nun im Zuge eines Kooperationslabors, welches gemeinsam von der Holzforschung Austria (HFA) und der Vereinigung der österreichischen Zementindustrie (VÖZ) betrieben wird, der Frage nachgegangen werden, ob sich die beiden Baustoffe Holz und Beton nicht dauerhaft und wirtschaftlich zu einem leistungsstarken Hybridbauteil verbinden lassen. Der Schlüssel für die Lösung dieser Aufgabe liegt in der modernen Klebetechnik welche heutzutage bereits in vielen Bereichen unseres täglichen Lebens, wie z. B. im Flugzeug, dem Auto, der Fassade oder unseren Schuhen, erfolgreich Einzug gehalten hat. Neben der direkten Verklebung von Holz und Beton als Fertigteile im Werk steht vor allem auch der Einsatz einer verklebten Zwischenschicht zwischen dem Aufbeton und der Holzkonstruktion im Fokus der gemeinsamen Forschungsaktivitäten. Durch diese Schicht wäre das Holz einerseits vor Feuchteintrag während des Betoniervorganges geschützt, andererseits ließe sich bei entsprechender Wahl des Materials auch eine Verbesserung des Schalldämmmaßes der Deckenkonstruktion durch eine schalltechnische Entkopplung der beiden Schichten lukrieren. Ein wesentlicher Vorteil des geklebten Verbundes wäre schließlich die Herstellung gesamter hochgradig vorgefertigter HBV-Elemente im Werk in entsprechend

hoher Qualität und Güte. Derartige Vollfertigteile können trocken auf die Baustelle geliefert, versetzt und unmittelbar belastet werden. Die Methoden für die Verklebung von Holz und Beton werden hierzu im Rahmen des ACR-Kooperationslabors gemeinsam durch HFA und VÖZ entwickelt. Die Laufzeit des Labors ist derzeit mit 2 ½ Jahren, von Januar 2017 bis Juni 2019, projektiert. Mittlerweile wurden unterschiedliche synthetische und mineralische Klebstoffe sowie potentielle Zwischenschichtmaterialien erfolgreich untersucht und bewertet. Die ersten Ergebnisse aus Kleinversuchen sind bereits sehr vielversprechend, weshalb das Konzept des geklebten Verbundes im Zuge des Projektes weiter vorangetrieben wird. Im Fokus steht dabei die Entwicklung einer entsprechenden Füge-technik.

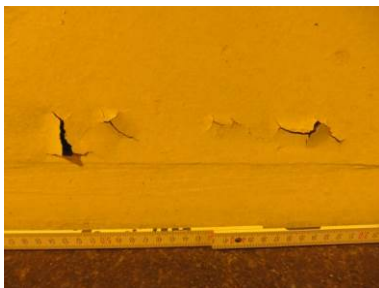
Betontechnologische Einflussfaktoren auf die Dauerhaftigkeit von Tunnelanstrichsystemen

*DI Birgit Achleitner, DI Dr. Martin Peyerl (Smart Minerals GmbH)
Karl Kolar (IKO - Ingenieurbüro Kolar GmbH), DI Michael Steiner (ASFINAG F&E)*

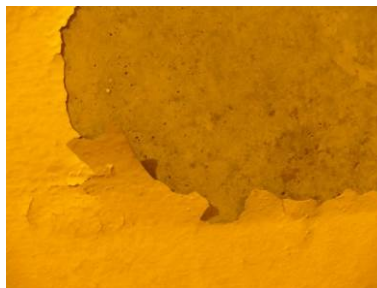
Tunnelanstrichsysteme sind für die Erhöhung der Sicherheit und die Reduktion der Instandhaltungs- und Energiekosten für den Infrastrukturbetreiber von wesentlicher Bedeutung. Allerdings ist die Dauerhaftigkeit der derzeit eingesetzten Systeme oft nicht zufriedenstellend. Manche, teilweise sogar ältere Anstrichsysteme sind noch in gutem Zustand während andere bereits wenige Jahre nach dem Auftrag grobe Mängel, insbesondere Ablöseerscheinungen, aufweisen. Die Ursachen für diese Schädstellen sind vielfältig: Verschleiß, Alterung, Einflüsse durch Verarbeitungsmängel oder mangelnde Untergrundvorbereitung, uvm. können eine Rolle spielen. Dadurch gestaltet sich besonders die Ursachenfindung und Zuordnung von aufgetretenen Mängeln als äußerst vielschichtig.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden deshalb die Einflussparameter auf die Dauerhaftigkeit von Tunnelanstrichsystemen eingehend untersucht. In der ersten Projekthälfte wurden repräsentative Tunnelbauwerke aus dem Gesamtnetz der ASFINAG ausgewählt und einer detaillierten Beurteilung unterzogen. Bei der Herstellung von Tunnelinnenschalen werden üblicherweise die Betonsorten gemäß ÖBV Richtlinie „Innenschalenbeton“ für Gewölbe mit der Sortenbezeichnung IG bzw. für wasserdichte Innenschalen mit der Sortenbezeichnung WDI eingesetzt, welche mit geringeren Bindemittelgehalten auskommen als vergleichbare Betonsorten gemäß ÖNORM B4710-1. Die Beständigkeit dieser für Tunnelinnenschalen vorgesehenen Betonsorten gegenüber Umwelteinflüssen (z.B. Frost-Taumittelbeanspruchung) ist demgemäß geringer. Es wird bei Betonsorten für Tunnelinnenschalen davon ausgegangen, dass durch den vorhandenen Tunnelanstrich ein zusätzlicher Schutz des Betons gegeben ist. Ist dieser Schutz durch den Tunnelanstrich nicht mehr ausreichend vorhanden, kommt es rasch zu Frost-Taumittelschäden des Tunnelinnenschalenbetons.

Neben der visuellen Begutachtung wurden während den Tunnelbegehungen ebenfalls Material- und Untergrundeigenschaften festgestellt und die Betriebsparameter erhoben. Zu den notierten Schadensbildern gehörten vor allem Ablöseerscheinungen unterschiedlichster Form und Größe welche in allen beprobten Tunneln beobachtet werden konnten. Obwohl sich die Schadensbilder ähneln können die Ursachen verschiedenartig sein: aufsteigende Feuchtigkeit im unteren Ulmenbereich, Defekte durch Einbauten oder schlechte Untergrundhaftung stellen nur ein Auszug der möglichen Auslöser dar.



Schädigung im Anschlussbereich
Randstreifen



Großflächige Ablösungen vor allem
im oberen Ulmenbereich



Längliche Abplatzungen besonders
in Portalnähe

Abbildung 1: Exemplarische Schadensbilder aufgenommen im Strengener Tunnel – Fahrtrichtung Innsbruck

Basierend auf den Erkenntnissen aus der Begutachtung und Beprobung realer Tunnelbauwerke wurden in der zweiten Projekthälfte die Auswirkungen von W/B-Wert, Untergrundvorbereitung und Herstellungsparametern auf die Beständigkeit von Anstrichsystemen mit Hilfe von Laborversuchen unter kontrollierten Bedingungen simuliert. Hierbei konnte ein Einfluss des Chloridgehaltes und W/B-Wertes festgestellt werden, obwohl oberflächlich keine Schäden an den aufgetragenen Anstrichsystemen sichtbar waren. Erst nach definierten Auslagerungsszenarien (beispielsweise Frost-Tausalz-Einwirkung) wurden Risse sichtbar.

Zusammenfassend kann zu den Ergebnissen aus diesem Forschungsprojekt folgendes festgehalten werden:

- Durch die Besichtigung ausgewählter Tunnelobjekte konnte eine umfassende Datengrundlage bezüglich den Erscheinungsformen möglicher Beschichtungsschäden erstellt werden. Außerdem war eine erste Abschätzung denkbarer Einflussparameter auf die Dauerhaftigkeit von Tunnelbeschichtungen möglich.
- Durch die anschließende Beprobung der Tunnelobjekte wurde weiters versucht, einen Zusammenhang zwischen einfach bestimmbarer Parametern und bestimmten Schadensbildern bzw. Schadenshäufungen festzustellen. Eine Zuweisung war in einzelnen Fällen möglich, beispielsweise ein hoher Chloridgehalt und niedrige Haftzugfestigkeit bei Abplatzungen.
- Während den Laborversuchen wurden die Auswirkungen ungünstiger Herstellungsbedingungen und Witterungseinflüsse auf die Beschichtung untersucht. Hierbei wurde in unterschiedlichen Auslagerungsszenarien ein Einfluss der Betonqualität wie W/B-Wert und Chloridgehalt sowie den Verarbeitungsbedingungen festgestellt.

Ungemahlener Hüttensand als Substituent der feinen Gesteinskörnung in Beton

Zur Steigerung der Nutzungseffizienz des industriellen Nebenprodukts Hüttensands soll dessen Einsatzmöglichkeit als Ersatz der feinen Gesteinskörnung in Beton untersucht und geprüft werden. Gemahlener Hüttensand ist in Österreich bereits seit langem ein Bestandteil des Zements (z.B. CEM II/A-S, CEM II/B-S) bzw. von Betonzusatzstoffen (AHWZ; aufbereitete hydraulisch wirksame Zusatzstoffe). Allerdings muss in diesen Anwendungsgebieten der Hüttensand fein aufgemahlen werden, was mit hohem Energieaufwand verbunden ist. Eine völlig neue und energieeffiziente Ressourcennutzung des Hüttensands ist dessen Einsatz in Form in der er anfällt. Generell hat Hüttensand Korngrößen von 0 – 4 mm.

Soll ungemahlener Hüttensand nun als Gesteinskörnung in Betonen eingesetzt werden, muss er auch alle Anforderungen erfüllen, welche allgemein an Gesteinskörnungen in Betonen gestellt werden. Dies kann nur durch umfangreiche Laboruntersuchungen festgestellt werden, welche im Zuge dieses Forschungsprojektes durchgeführt werden.

Gesteinskörnungen sind neben Zement, Wasser, Zusatzstoffen und Zusatzmitteln der wesentliche Bestandteil von Beton. Aufgrund ihres großen volumsmäßigen Anteils beeinflussen sie Betoneigenschaften wie Verarbeitbarkeit und Dauerhaftigkeit und sind daher strengen Qualitätsanforderungen unterworfen. Allgemeine Anforderungen an Gesteinskörnungen sind in der harmonisierten Europäischen Norm EN 12620 – „Gesteinskörnungen von Beton“ spezifiziert. In der nationalen Anwendungsnorm ÖNORM B 3131 – „Gesteinskörnungen für Beton - Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 12620“ werden die allgemeinen Anforderungen an die nationalen Gegebenheiten angepasst. Für spezielle Einsatzgebiete wie z.B. der Bau von Betonstraßen wurden spezifische Regelwerke wie zum Beispiel die RVS 08.17.02 „Deckenherstellung“ der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr erarbeitet.

Zusätzlich zu den normativen Anforderungen wird auch die Umweltverträglichkeit des Hüttensands geprüft. Dabei werden eventuell auftretende Schwermetallgehalte im Hüttensand mittels Feststoffanalyse und Säureaufschluss und Eluatuntersuchungen analysiert.

Bisherige Ergebnisse haben gezeigt, dass Hüttensand den Anforderungen gem. der EN 12620 und der ÖNORM B 4710-1 uneingeschränkt entspricht. Die Anforderungen im Straßenbau gem. RVS 08.17.02 werden mit Ausnahme der Polierresistenz eingehalten. Diesbezüglich muss noch relativiert werden, dass in der Praxis Hüttensand nicht vollständig die Sandfraktion substituieren soll, sondern nur anteilmäßig. Das bedeutet dass auch die tatsächlich eingesetzte Mischung noch optimiert werden kann, und so ein Einsatz von Hüttensand in der Deckschicht von Betonstraßen nicht ausgeschlossen werden muss.

Neben der Eignung von Hüttensand als Gesteinskörnung per se muss auch das Zusammenspiel der Gesteinskörnung mit den weiteren Betonkomponenten – Zement, Wasser, Zusatzmittel und Zusatzstoffen – geprüft werden. Dies erfolgt durch umfassende Laboruntersuchungen an unterschiedlichen Betonsorten (Fertigteilbeton, Hochbaubeton, Konstruktionsbeton, Straßenbeton: Oberbeton und Unterbeton) und einem Praxisversuch,

welcher mit Unterstützung des MABA Fertigteilwerks in Micheldorf durchgeführt werden konnte.

Prinzipiell sind bei den Betonversuchen zwei wesentliche Qualitätskriterien von Beton zu bestimmen und zu bewerten: die Eigenschaften des Betons in seiner frischen Form und die Dauerhaftigkeit des erhärteten Betons. Zur Evaluierung dieser Eigenschaften an insgesamt 5 unterschiedlichen Betonsorten wurde je Betonsorte ein Block mit einem Referenzbeton (ohne Hüttensand) und 4 weiteren Betonen mit Hüttensand (Linz 10%, Linz 15%, Donawitz 10%, Donawitz 15%) hergestellt.

Der aktuelle Stand der Ergebnisse zeigt, dass die Zugabe von ungemahlenem Hüttensand keine Verschlechterung der Verarbeitbarkeit des Betons bewirkt. Im Falle des Hüttensandes von Linz konnte sogar eine Einsparung von Fließmittel beobachtet werden, was einer Verbesserung der Verarbeitbarkeit entspricht. Die erzielten Druckfestigkeiten der einzelnen Betonsorten brachten keine Verschlechterung der Ergebnisse durch die Zugabe von Hüttensand. Gleiches konnte in Hinblick auf die Prüfwerte des E-Moduls beobachtet werden.

Zusammenfassend zeichnet sich bisher ab, dass ungemahlener Hüttensand ein geeigneter Substituent der feinen Gesteinskörnung in Beton ist. Eine finalisierende Aussage kann aber zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht getroffen werden, da eine Vielzahl an Prüfungen, vor allem betreffend der Dauerhaftigkeitsparameter, noch im Laufen ist.

Veranstaltung: **VÖZ Kolloquium 2017**

Firma: BASF Construction Solutions GmbH

Referent: Dr.-Ing. Jürgen Huber

Thema: **Baustellenrelevante Kennwerte von Beton
- abseits von Konsistenzklasse und 28d-Druckfestigkeit**

Abgabe: 23.08.2017

KURZZUSAMMENFASSUNG

In den meisten Fällen wird Baustell beton lediglich durch zwei Parameter charakterisiert: Die Konsistenzklasse für die Verarbeitbarkeit, sowie die Druckfestigkeit nach 28 Tagen für die Anforderungen an die Festigkeit (Statik) und Dichtigkeit (Exposition), also der Dauerhaftigkeit.

Eigenschaften und Kennwerte, welche teilweise signifikante Auswirkungen auf das Handling eines Betons dessen Dauerhaftigkeit haben, werden in der Praxis heutzutage meist vernachlässigt und führen bestenfalls zu einer mangelnden Effizienz oder schlimmstenfalls zu großen Schäden.

Das **Erstarrungsende** (t_E) besitzt einen großen Einfluss auf Schalungsdruck bzw. Steiggeschwindigkeit bei Wandbetonagen (s. DBV-Rundschreiben 249) oder auch den Bearbeitungszeitpunkt eines Industriebodens.

Mit Kennwerten wie der **Viskosität** (Zähigkeit) und Fließgrenze lassen sich Verarbeitungseigenschaften, Robustheit und Pumpbarkeit weitaus besser und genauer beschreiben als durch das Ausbreitmaß.

Erhärtungsbeschleuniger, welche die übrigen Betoneigenschaften nicht beeinflussen, bieten großes technisches und wirtschaftliches Potential z.B. bei Winterbau / Taktzeiten

Der Vortrag zeigt Möglichkeiten, die genannten Parameter gezielt zu steuern sowie den resultierenden Nutzen.

Verankerung der Vorspannung in filigranen UHPC-Bauteilen

Vojvodic Goran, Tue Nguyen Viet

Institut für Betonbau, Technische Universität Graz

Einleitung

Durch die Materialeigenschaften, wie u.a. der sehr hohen Festigkeiten, der Gefügekompaktheit und Dauerhaftigkeit, eignen sich Bauteile aus Ultra-Hochfesten Betonen (UHPC) in hohem Maße für eine Vorspannung. Besonders die dünnwandigen Elemente sind aus konstruktiven und wirtschaftlichen Gesichtspunkten von Interesse. Weiters bieten die im Spannbett vorgespannten Bauteile mit sofortigem Verbund viele Vorteile hinsichtlich der Herstellung, des Transports und der Montage. Genaue Kenntnisse über die Verankerung der Spannlitzen in filigranen UHPC Bauteilen sind erforderlich, um eine zutreffende Bemessung auf dem globalen und lokalen Tragwerksniveau durchzuführen. Anhand von theoretischen Grundlagen und Versuchsergebnissen wird die untersuchte Verankerung der Vorspannung dargelegt.

Theoretische Grundlagen

Im Allgemeinen wird die Verankerung der Vorspannung anhand einer Verbund-Verschiebungsbeziehung dargestellt, die häufig aus Versuchen abgeleitet wird. Als Übertragungsmechanismen werden Haft-, Reibungs- und Scherverbund charakterisiert. Ein Zusammenhang kann für die Verbundfestigkeit der Litzen im Bereich der Spannkraftübertragung in Abhängigkeit der Übertragungsmechanismen aufgestellt werden. Er besteht aus einem konstanten Grundanteil (starr-plastisch), einem spannungsabhängigen Anteil mit linearem Ansatz und einem verschiebungs- bzw. schlupfabhängigen Anteil mit einem Potenzansatz. Für die Bestimmung des wirkamen Umfangs und der Fläche der Spannlitze kann eine bezogene Rippenfläche in Anlehnung an den Rippenstahl genützt werden.

Versuchskonzept

Die Durchführung der Versuche kann in zwei Schwerpunkte eingeteilt werden. Der erste Teil der Versuche beschäftigt sich mit der Verankerung nicht vorgespannter Litzen. Es wurden 42 Pull-Out Versuche durchgeführt, wobei die Verbundlänge, die Faserart, die Betondeckung und das Betonalter variiert wurden. Vorab wurde die Auswahl der verwendeten Litze ($d=0,62''$, $R_y/R_m=1660/1860$ MPa) bzw. der gefaserten UHPC-Mischung ($f_{cm}=180$ MPa) getroffen. Dies geschah unter Beachtung der Praxisrelevanz und -tauglichkeit. Mit den gewonnenen Erkenntnissen aus den Pull-Out-Versuchen wurden die Vorspannversuche vorbereitet. Diese dienen zur Bestimmung des Verbundverhaltens und somit der Verankerung der vorgespannten Litzen im UHPC. Besonderes Augenmerk wurde dem Übertragungsbereich der Vorspannung gewidmet. Variiert wurden vor allem das Betonalter bei der Versuchsdurchführung und die Absetzgeschwindigkeit. Weiter wurde neben der Einzelwirkung auch die Blockwirkung der Litzen untersucht.

Verbundverhalten nicht vorgespannter Litzen

Die Festlegung der Abmessungen und die Herstellung der Versuchskörper der fünf durchgeführten Serien erfolgte in Anlehnung nach der RILEM-Empfehlung für Pull-Out-Versuche.

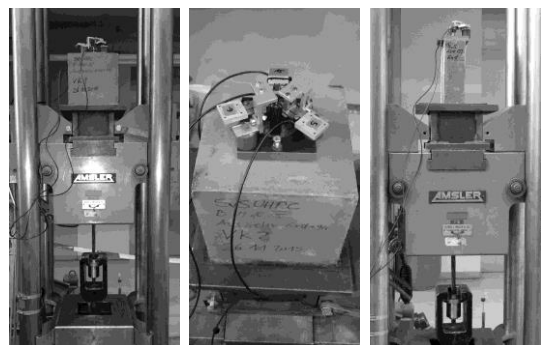
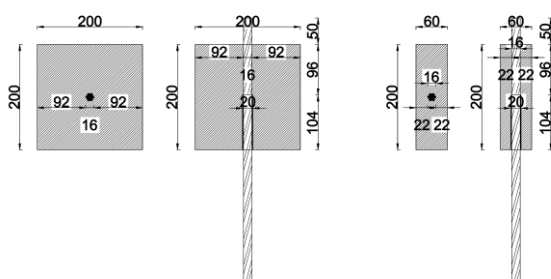


Abbildung 1.: Ausziehversuchskörper für eine Verbundlänge von $6 \times d$ (links) und Pull-Out-Versuchsanordnung (rechts)

Resultate der Serie 1 ergeben die Verbundfestigkeiten von etwa 21 N/mm^2 nach 28 Tagen. Damit liegen die Werte von τ_b wie erwartet zwischen Verbundfestigkeiten von Rippen- und glatten Stählen. Leicht ansteigende Werte der Verbundfestigkeit sind in der Serie 1 bis zu einer Verbundlänge von $6 \times d$ feststellbar, danach leicht

abfallend. Bei der Serie 2 wurden die Verbundfestigkeiten mit etwa $16,5 \text{ N/mm}^2$ nach 28 Tagen bestimmt. Kleinere Werte gegenüber der Serie 1 sind vor allem auf die geringere Querpressung aus Schwinden durch die geringere Querschnittsdicke der Probe zurückzuführen. Außerdem führt die geringere Betondeckung zu einem kleineren Schlupf Widerstand. Bei Serie 3 wurden unter Einsatz der Faser bereits nach 7 Tagen Verbundfestigkeiten von ca. $16,0 \text{ N/mm}^2$ erreicht. Bei allen drei Serien waren die Proben beim Erreichen der maximalen Ausziehkraft rissfrei. Die Serien 4 und 5 wurden im Betonalter von 7 Tagen mit großen Verbundlängen geprüft. In beiden Serien wurde untersucht, ob die Litze bis zum Versagen belastet werden kann, ohne sichtbare Risse des Betons. Das Versagen trat durch einen Zugbruch jeweils eines äußeren Drahtes der Litze im Bereich unmittelbar vor dem Spannkeil ein. Dabei blieben die Bereiche der Mindestbetondeckung ohne feststellbare Längsrisse.

Verankerung vorgespannter Litzen

Die Betonzusammensetzung wurde für den zweiten Teil der Untersuchungen beibehalten. Eine Mindestbetondeckung von $2,0 \times d$ wurde für die Durchführung der Vorspannversuche gewählt. Die maximale Vorspannkraft P_{mo} beträgt $195,3 \text{ kN}$.

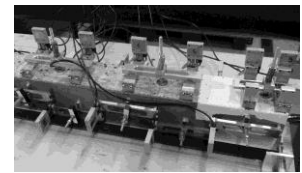
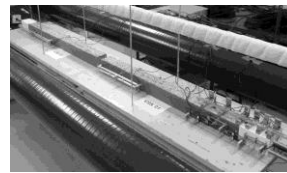
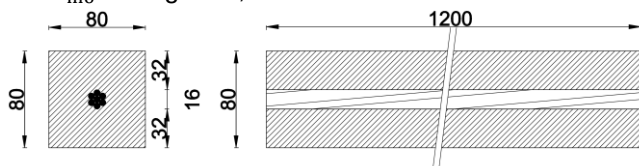


Abbildung 2.: Vorspannbauteil bei Einzelversuchsanordnung (links) und Messinstrumentenanordnung (rechts)

Insgesamt wurden 3 Serien mit je zwei Versuchskörpern durchgeführt. Die Serien 1 und 3 wurden im Betonalter von zwei Tagen untersucht, die Serie 2 im Betonalter von 7 Tagen. Bei den Serien 1 und 2 wurde die Spannkraft schrittweise durch langsames Öffnen der Hydraulikventile abgesetzt. Die Umspanndauer betrug 8-10 sec. Bei Serie 3 wurde plötzlich innerhalb von 1 Sekunde abgesetzt, um eine Durchtrennung der Litze mit einem Schneidbrenner zu simulieren. Für die Serien 1 und 2 ist ein erwarteter Anstieg der Längsstauchungen im Bereich der Übertragungslänge deutlich. Nach etwa 25 cm von der Stirnseite des Probekörpers werden die Dehnungen konstant, was auf die konstanten Spannungen hindeutet. Damit wäre die Vorspannkraft innerhalb dieses Bereiches bereits übertragen. Da die Serie 2, im Prüfalter von 7 Tagen, später vorgespannt wurde, ist die Zunahme der Stauchungen durch die höheren Verbundfestigkeiten ausgeprägter. Bei der Serie 3 ist der Anstieg der Längsdehnungen steiler und erreicht. Bei der optischen Kontrolle aller Serien sind keine Makrorisse festgestellt worden.

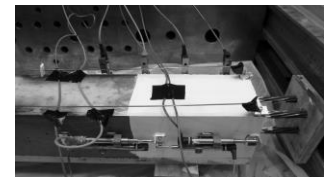
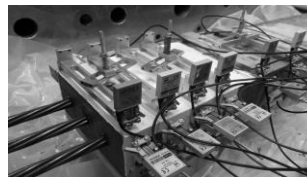
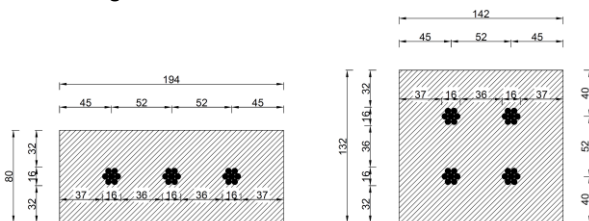


Abbildung 3.: Vorspannbauteile bei Blockversuchsanordnung (links) und Messinstrumentenanordnung (rechts)

Bei der Blockanordnung von Litzen wurde jeweils ein Bauteil mit drei Litzen in einer Reihe sowie ein Bauteil mit vier Litzen, paarweise übereinander, hergestellt und geprüft. Die Mindestbetondeckung und Betonalter wurden aus Einzelversuchen übernommen, bei Implementierung der normativen Mindestzwischenabstände. Es wurden keine Makrorisse beobachtet.

Zusammenfassung

Es wurde durch die Versuche festgestellt, dass die größte zugelassene Monolitze mit der höchsten Güte und einer Mindestbetondeckung von $2 \times d$ im frühesten Betonalter von zwei Tagen bei einer schrittweise Absetzung rissfrei verankert werden kann, sowohl bei Einzel- als auch Blockanordnung der Litzen.

Danksagung

Der vorliegende Kolloquiumsbeitrag wurde im Rahmen der Forschungsvorhabens „Substitution von Stahl durch UHPC“ erarbeitet, welche durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sowie die Industriepartner Kirchdorfer Fertigteilholding GmbH und voestalpine Special Wire GmbH finanziell ermöglicht wurde. Die Autoren bedanken sich recht herzlich bei den Fördernden für die Unterstützung.

Dünnwandige Bauteile aus carbonbewehrtem Ultrahochleistungsbeton

Philipp Preinstorfer, Benjamin Kromoser, Johann Kollegger

Technische Universität Wien – Institut für Tragkonstruktionen

Forschungsbereich für Stahlbeton- und Massivbau

Karlsplatz 13, E 212-2

A-1040 Wien, Österreich

philipp.preinstorfer@tuwien.ac.at



1. Einführung

Im Zuge eines Forschungsprojekts am Institut für Tragkonstruktionen der TU Wien wird derzeit der Einsatz von Hochleistungswerkstoffen im Betonbau erforscht. Im Vergleich zum konventionellen Stahlbetonbau können bei Auswahl von geeigneten Geometrien die Abmessungen der Bauteile wegen den guten mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe bedeutend reduziert werden. Dadurch können größere Spannweiten bei vorgegebenen Bauteilhöhen realisiert sowie der Transport- und Montageaufwand reduziert werden. Im Speziellen werden in diesem Forschungsprojekt Ultrahochleistungsbeton (engl. Ultra-high performance concrete – UHPC) und Carbonbewehrung in Form von Textilien und Stäben kombiniert.

2. Charakterisierung der Materialien

Carbonbewehrung zeichnet sich durch seine hohe Zugfestigkeit, sein geringes Gewicht und eine hohe Korrosionsbeständigkeit aus. Diese Bewehrung ist schon seit längerer Zeit in Form von Stäben und Litzen am Markt erhältlich, hat aber in den letzten Jahren durch intensive Forschung deutscher Universitäten an textilen Carbonbewehrungen neuen Aufschwung erhalten. Diese Textilien heben sich in weiterer Folge durch ihre Formgebungsmöglichkeiten und ihre höhere Steifigkeit von konventionellen Carbonstäben ab.

UHPC ist ein Beton mit einem sehr dichten Mikrogefüge. Daraus resultieren die den Ultrahochleistungsbeton prägenden Eigenschaften, wobei unter anderem die hohe Festigkeit (>150 MPa), aber auch die stark erhöhte Dauerhaftigkeit zu nennen ist. UHPC weist zudem eine erhöhte Beständigkeit gegenüber chemischen sowie auch mechanischen Angriffen auf.

3. Design

Bei der Verwendung von Hochleistungsmaterialien im Betonbau, die aufwendiger und somit auch energieintensiver und teurer in der Herstellung sind, ist ein materialeffizienter Einsatz besonders wichtig. Bei den in **Abb. 1** dargestellten Trägerkonfigurationen wurden die Materialien dort eingesetzt, wo sie benötigt werden.

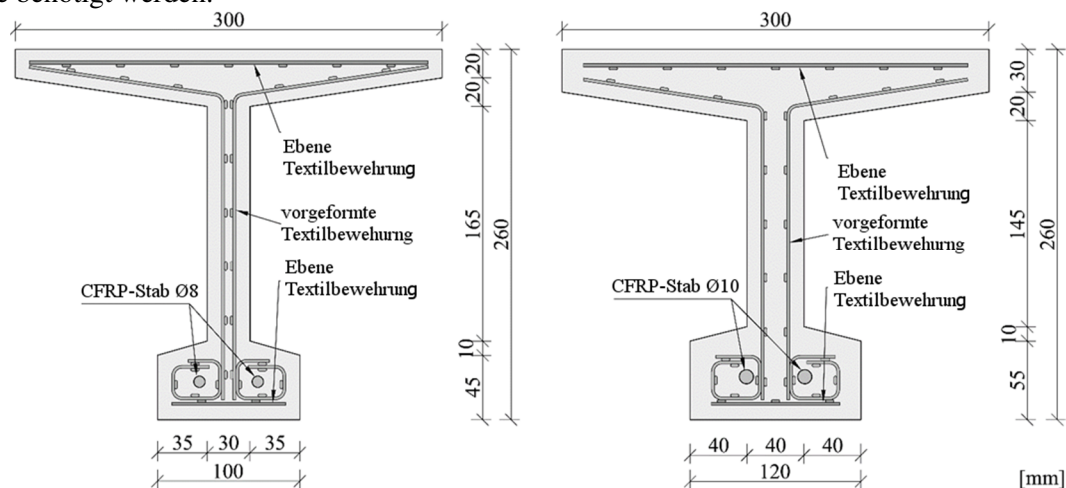


Abb. 1 Verschiedene Ausführungsformen eines carbonbewehrten Trägers aus UHPC [1]

Die dabei entstehenden Bauteile ähneln Bauteilen aus dem Stahlbau. Unter Annahme eines positiven Moments wird in der Druckzone der UHPC in Form eines Druckflansches gebündelt. Die Zugkräfte werden über Carbonstäbe im Zuggurt aufgenommen. Als Querkraftbewehrung fungiert ein Carbongitter, welches im Steg angeordnet wird. Aufgrund der hervorragenden Dauerhaftigkeitseigenschaften von UHPC und der Korrosionsbeständigkeit der Carbonbewehrung, kann die Betondeckung auf ein Minimum reduziert werden (in diesem Fall 10 mm). Im Vergleich zu üblichen Stahlbetonquerschnitten ergibt sich somit eine erhebliche Materialeinsparung. Diese Materialeinsparung ist für kurze und mittlere Spannweitenbereiche umso ausgeprägter, da im konventionellen Stahlbetonbau für diese Spannweitenbereiche der Anteil der Betondeckung am Gesamtvolumen groß und die Formgebungsmöglichkeiten klein sind.

4. Experimentelle Untersuchungen

Im Zuge des Forschungsprojektes wurden zahlreiche experimentelle Untersuchungen zum Materialverhalten und zum Strukturverhalten durchgeführt, die schlussendlich in eine Versuchsserie an Versuchskörpern im Maßstab 1:1, mit einer Länge von 5,0 m mündeten (siehe **Abb. 2**.)



Abb. 2 Experimentelle Untersuchungen zum Bauteilverhalten

Als wichtige Erkenntnis stellte sich dabei heraus, dass, obwohl das Materialverhalten der einzelnen Komponenten spröde ist, das Bauteilverhalten davon abweicht und eine gute Versagensankündigung aufweist. Diese ist im Grenzzustand der Tragfähigkeit z.B. durch großen Durchbiegungen, große Rissbreiten und merkbare akustische Signale gegeben.

Danksagung

Die Autoren möchten der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG für die finanzielle Unterstützung danken. Ein weiterer Dank gilt den Partnern des Forschungsprojektes, dem Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren (ILEK) der Universität Stuttgart und den Unternehmen SW-Umwelttechnik GmbH und solidian GmbH für die Unterstützung und konstruktive Zusammenarbeit im Zuge dieses Projektes

Literatur

- [1] B. Kromoser, P. Preinstorfer, J. Kollegger. *Building lightweight structures with CFRP-reinforced UHPC: research approach, construction materials, and conceptual design of three building components*. Structural Concrete (In Review). 2017

Kurzbeitrag:

Dr. Michael Olipitz, SDO ZT GmbH, Graz, Austria

Die UHPC-Schalenbauweise – Anwendungsbeispiele für den Hoch- und Brückenbau.

Mit Beginn des 21. Jahrhunderts wurde die Entwicklung des Baustoffes Ultra High Performance Concrete (UHPC) eingeleitet, dessen konstruktive Anwendungen sich durch hohe Ressourceneffizienz auszeichnen.

Sowohl die Konstruktion als auch die Ressourceneffizienz stehen ganz im Sinne von ingenieurmäßigem innovativen Denken und Handeln, und sind durch ästhetische Ansätze zu ergänzen. Dieses Konstruktionsprinzip lässt sich durch das **NEA-Prinzip** ausdrücken, in dem die **Natur**, die **Ethik** und die **Ästhetik** als gleichrangige Werteeigenschaften Eingang in die Planung und in die Ausführung unserer zukünftigen Betonkonstruktionen finden. Die Beachtung von gutem Design in der Planung führt zu kreativen Bauprodukten, die allen Anforderungen nachhaltiger Konstruktionen entsprechen.

In diesem Beitrag sollen Beispiele aus dem Hoch- und Brückenbau gezeigt werden, bei dem der Baustoff UHPC erfolgreich eingesetzt wurde und die dem Grundgedanken des NEA-Prinzips folgen. Erst wenn die Konstruktion sich in ihrer Effizienz dem Betrachter zeigt und dieser die Konstruktion durch den Einklang mit der Umgebung als harmonisch empfindet, kann man aus der Sicht des Ingenieurs von einem gelungenen Bauwerk sprechen. Die Loslösung von den ausschließlich reinen wirtschaftlichen und technischen Überlegungen hin zur Einbeziehung von Ethik und Ästhetik sollte im Entwurf von Tragwerken und in die universitäre Lehre auf Basis der Praxis und der Forschung Eingang finden.

Als erstes Beispiel wird die Konstruktion von **UHPC-Treppen** erläutert, deren Tragwirkung sich durch die gefaltete Form auf das Prinzip der Faltwerke zurückführen lässt. Faltwerke stellen sehr effiziente Konstruktionen dar, sodass eine Laufplattendicke von lediglich 5 cm ausreicht, um hinreichende Steifigkeiten erzielen zu können. Es werden einige Herstellungsdetails sowie konstruktive Hinweise für die Planung erläutert. Die Anwendung solcher Konstruktionen erfordert die entsprechende Situierung in Gebäuden, um den Nutzer auch die Leistungsfähigkeit näher zu bringen (Ästhetik).

In einem weiteren Beispiel wird anhand einer **UHPC-Skulptur** das Prinzip der Faltwerktragwirkung in die allgemeingültige UHPC-Schalenbauweise übergeführt und so die für den UHPC eingangs erwähnte Ressourceneffizienz durch die räumliche Tragwirkung erzielt. Es werden ebene Platten zu einer räumlichen Struktur zusammengefügt, wobei das Fügen der Elemente einen

wesentlichen Aspekt darstellt. Anhand ausgeführter Projekte sollen Beispiele der Fügetechnik gezeigt werden. Die gedankliche Erweiterung dieser UHPC-Schalenbauweise für Freiformdächer wird skizzenhaft aufgezeigt und Anwendungsmöglichkeiten für Dachkonstruktionen präsentiert.

Der Vorteil der Anwendung des Baustoffes UHPC für Infrastrukturprojekte und speziell im Brückenbau, ist durch seine Dauerhaftigkeit im besonderen Maße gegeben. Dazu soll wiederum anhand einer ausgeführten **UHPC-Schalenbrücke** auf das Prinzip der *UHPC-Schalenbauweise* im Brückenbau eingegangen werden. Durch die geforderte Schlankheit der UHPC-Konstruktion wird die Nutzung geometrischer Steifigkeiten erforderlich, die sich beim vorliegenden Projekt durch Einführen eines räumlichen Knickes ergibt. Es werden dazu konkrete Entwurfsüberlegungen gezeigt.

Zum Abschluss werden die wichtigsten Konstruktionsprinzipien der UHPC-Schalenbauweise zusammengefasst und machbare weitere Entwicklungen und Möglichkeiten in der Anwendung von UHPC-Bauteilen aufgezeigt. Die im **NEA-Entwurfsprozess** wichtigen Auseinandersetzungen und die Auswirkungen auf das Design werden aufgezeigt.

Graz, am 30.10.2017

Dr. M. Olipitz