

Kollo quium 2012

Forschung & Entwicklung für Zement und Beton

Kurzfassungen der Beiträge

Ausgabe 8.11.2012



Inhalt

Neue Bauverfahren / Technologien

Neuartige Metall-Beton-Verbundplatte

DI Stephan Pirringer, TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen, Wien

Weiterentwicklung des mit Carbonfasern verstärkten UHPC

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

Einfluss von Oberflächentextur auf die mechanischen Verbundeigenschaften von Beton-Beton-Verbundbaustoffen

DI Dr. Martin Peyrerl, Forschungsinstitut der VÖZ, Wien

Großversuche und Struktursimulationen zur Sicherheit von Hohlraumbauten unter Feuerlast

DI Dr. Matthias Zeiml, TU Wien, Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen (IMWS), FCP, Wien

Aktive Speichermassenbewirtschaftung zur Energieeffizienz im Wohnbau

DI Dr. Peter Holzer, Donau-Universität Krems, Krems

Betontechnologie

Ein neues Beurteilungsverfahren der Konsistenz von selbstverdichtenden Betonen

Prof. DI Dr. Wolfgang Kusterle, DI Florian Fleischmann, M. Eng.,

Hochschule Regensburg, Regensburg, Deutschland

DI Peter Christlmeier, Rohrdorfer Zement, Rohrdorf, Deutschland

Frischbetondruck, Einflussgrößen, Steuerungsmöglichkeiten und Beurteilung

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

DI Dr. Alexander Reinisch, Doka Industrie GmbH, Amstetten

Chancen und Herausforderungen auf dem Weg zur nachhaltigen Produktion und Anwendung von Beton

Dr. Jan Kluegge, BASF, Zürich, Schweiz

Herabsetzung der Chlorid-Migration in Beton durch Puzzolane

DI Dr. Denis Bézard, Dr. Denis Bézard GmbH, Baden

Untersuchung der unterschiedlichen Fließmittel mit Hilfe von Rheologischen Messungen

DI Dr. Ameneh Schneider, Forschungsinstitut der VÖZ, Wien

Geometrie vom Wasser inspiriert, mit Weißzement realisiert

Kruno Stephan Thaleck, Inhaber/GF B&T Bau & Technologie GmbH), Raubling, Deutschland

Entwicklungen / Baupraxis

Querkraftversuche an ausgebauten und über 50 Jahre alten Brückenträgern aus Spannbeton

DI Patrick Huber, BSc, TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen – Betonbau, Wien

Neue Entwicklungen bei der Ausführung von „Weißen Wannen“

BR h.c. Dr. Helmut Huber, Experte, Birgitz

Brückenträger aus dünnwandigen Fertigteilen mit Füllbeton

DI David Wimmer, TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen – Betonbau, Wien

Untersuchung der Bettungsverhältnisse unter Betondecken am Flughafen Wien, mit Hilfe des Fallgewichtsdeflektometers (FWD)

DI Lukas Eberhardsteiner, Univ. Prof. DI Dr. Ronald Blab,

TU Wien, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Wien

Tunnelbauwerke als Energiequelle – Energietübbing

Ing. Robert Breithofer, Rehau GmbH, Guntramsdorf

NEUARTIGE METALL-BETON-VERBUNDPLATTE

*Stephan Pirringer
Technische Universität Wien
Institut für Tragkonstruktionen*

1. EINLEITUNG

An der technischen Universität Wien ist derzeit ein neuer Ansatz für kleinformartige 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 werden. Dadurch kann bei kleinformartigen Verbundplatten eine Gewichtersparnis sowie eine Reduktion der Bauteilhöhe bis zu 20% realisiert werden.

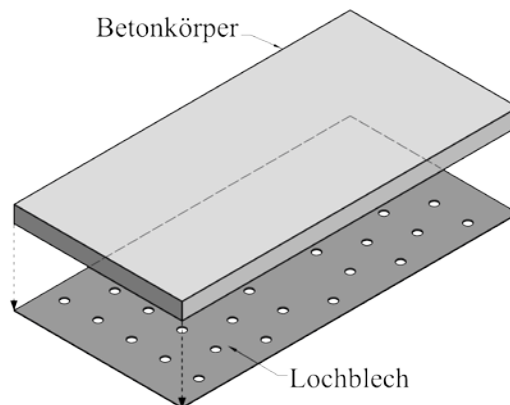


Abb. 1: Schematische Darstellung der Metall-Beton-Verbundplatte

2. TECHNISCHER HINTERGRUND

Der Verbund zwischen den Materialien Beton und Stahl 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 aufgenommen. Deren gleichmäßige Verteilung erlaubt es auf weitere Maßnahmen zur Endverankerung, die aufgrund der niedrigen Bauteilhöhe (3cm bis 10cm) nur schwer bis gar nicht zu realisieren wären, zu verzichten.

3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Zu Beginn des Forschungsvorhabens wurde die Funktionalität dieser neuartigen Verbundplatten anhand einer Vorversuchserie von fünf gleichgroßen Versuchskörpern ($L/B/H = 100/20/5$ [cm]) in einem statischen 4-Punkt-Biegeversuch bei einer Stützweite von 90,0 cm getestet. Für alle Versuchskörper wurde ein selbstverdichtender Beton C 40/50 und ein sendzimirverzinktes Lochblech der Güte S235 mit Rundlöchern in rechteckiger Anordnung verwendet. In den Vorversuchen kamen Lochbleche mit zwei unterschiedlichen Lochdurchmessern und Blechstärken zur Anwendung.

Im Anschluss an die Vorversuche wurde anhand einer Versuchsreihe, bestehend aus bisher 22 Serien zu je 5 Versuchskörpern, das Tragverhalten der Betondübel untersucht. Für diese Abscherversuche wurde ein Versuchsaufbau entwickelt, der es durch die Möglichkeit einer Querdruckbelastung ermöglicht, sowohl Plattenbereiche am Auflager als auch im Feld der Platte nachzuempfinden. Im Zuge der Versuchsdurchführung wurden Versuchskörper aus unterschiedlichen Materialien, variierende Lochanordnungen und -größen, sowie unterschiedlichen Blechstärken untersucht.

Basierend auf den Erkenntnissen der oben genannten Versuchsreihen, wurden im Sommer dieses Jahres weitere statische 4-Punkt-Biegeversuche an Platten durchgeführt. Dabei kam derselbe Versuchsaufbau wie auch schon bei den Vorversuchen zur Anwendung. Bisher wurden sieben Versuchsserien unter Variation des Lochbildes sowie der Blechstärken getestet.

4. ERGEBNISSE DER BISHER DURCHGEFÜHRTEN VERSUCHE

Auf Grund zunächst noch unzureichender Kenntnis über das Verbundverhalten dieses neuartigen Verbundes, zeigten während der Vorversuche noch drei der fünf Versuchskörper ein plötzliches und sprödes Versagen. Anhand der, aus den Abscherversuchen gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse, konnten die Platten der jüngst durchgeführten 4-Punkt-Biegeversuche bereits weitaus genauer geplant und bemessen werden.

Wie die Ergebnisse und Auswertungen der Abscherversuche gezeigt haben, lässt sich das Tragverhalten und die Traglast einzelner Dübel – in Abhängigkeit der Betondübelgeometrie – durch relativ einfache mechanische Aspekte sehr gut annähern und berechnen. Anhand der Versuche konnte gezeigt werden, dass der Versagensmechanismus maßgeblich durch die Lochanordnung und Lochgeometrie, respektive die Blechstärke, beeinflusst wird. Bei sorgfältiger Abstimmung aller Parameter, erweist sich der Verbund aus regelmäßig über das Lochblech verteilten Betondübeln als sehr gutmütig, und ermöglicht ein hochgradig duktiler Verhalten. Ein vollständiger Verlust des Verbundes durch frühzeitige Ablösung des Lochbleches vom Betonkörper konnte an keinem Versuchskörper festgestellt werden.

Neben Erkenntnissen zu mechanischen Aspekten wie dem Tragverhalten und der Traglast von Verbundplatten dieser Bauweise, haben die Versuche auch zahlreiche fertigungstechnische Erkenntnisse geliefert.

Auf Basis der aktuellen Versuchsergebnisse sind weitere Versuche am Verbundverhalten und Versuche mit Frost-Tau-Wechselbeanspruchung und dynamischer Belastung in Planung.

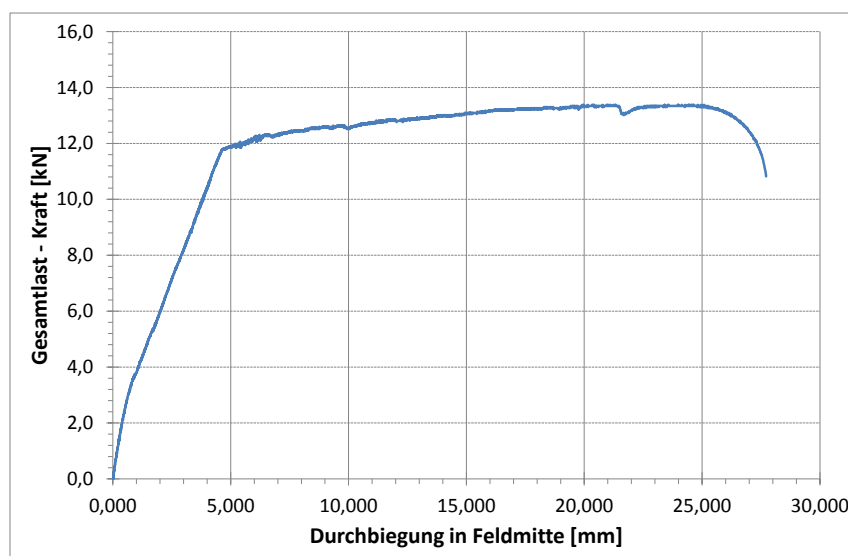


Abb. 2: Last-Verformungsdiagramm, 4-Punkt-Biegeversuch Versuchskörper 3C

Weiterentwicklung des mit Carbonfasern verstärkten UHPC

Nguyen Viet Tue, Kim Huy Hoang

1 Vorbemerkung

Gegenüber Stahlfasern weisen Carbonfasern bessere mechanische Eigenschaften auf. Vor allen ist keine Korrosionsgefahr während der Nutzung zu erwarten. Im Vergleich zu anderen Kunststofffasern haben Carbonfasern den entscheidenden Vorteil von hohem E-Modul in Größenordnung des Stahls, so dass die Zugkapazität der Fasern bereits bei sehr geringer Rissöffnung aktiviert werden kann. Die ersten Ergebnisse [1] mit Fasern von geringem Durchmesser zeigten jedoch, dass das Zugtragverhalten des UHPC nicht verbessert werden konnte. Grund hierfür ist die hohe Empfindlichkeit gegenüber dem Querdruck, der wegen der zufälligen Orientierung der Fasern im Verhältnis zur Rissfläche entsteht. In Zusammenarbeit mit SGL Group und Dyckerhoff wurden sowohl die Fasergeometrie als auch die Zusammensetzung der Zementmatrix im vergangenen Jahr stufenweise verbessert, so dass inzwischen mit Carbonfasern verstärkter UHPC deutliche Verbesserungen des Zugtragverhaltens erreicht hat. Durch die beiden genannten Änderungen können die Frischbetoneigenschaften des UHPC ebenfalls deutlich verbessert werden. In diesem Beitrag werden einige Ergebnisse präsentiert.

2 Neue Carbonfasern

Anstelle der Fasern mit einem Durchmesser von 7 μm , welche nicht geeignet für die Anwendung im UHPC sind, sowohl in Bezug auf die Frischbetoneigenschaften als auch auf die Verbesserung des Zugtragverhaltens von UHPC, wurden Faserbündel gemäß Bild 1 verwendet. Verschiedene Fasergeometrien mit unterschiedlichen Schichten wurde getestet, um einen ausreichenden Verbund zwischen UHPC und Fasern zu definieren.



Bild 1: Faserbündel (links) im Vergleich mit den ursprünglichen Fasern (rechts)

Zu Untersuchung des Verbundverhaltens wurden Ausziehversuche gemäß Bild 2 durchgeführt. Durch die Verbesserung der Oberfläche der Fasern kann eine Verbundfestigkeit von ca. 10 MPa erreicht werden, welche in der Größenordnung von Stahlfasern liegt.

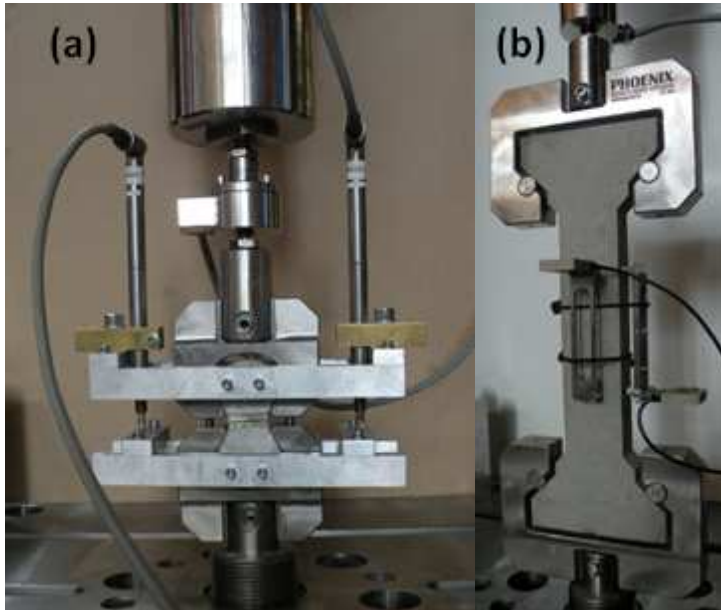


Bild 2: Ausziehversuche zur Ermittlung des Verbundverhaltens

3. Festbetoneigenschaften

Durch die Verbesserung der Fasergeometrie kann auch die Druckfestigkeit der UHPC kaum beeinflusst werden. Das Zugtragverhalten kann jedoch deutlich verbessert werden. Anders als bei Fasern mit einem Durchmesser von $7\ \mu\text{m}$ wurden die Fasern bei der Ribbildung nicht gebrochen. Das Versagen der Probekörper wird hauptsächlich durch das Herausziehen der Faser bestimmt. Ebenso bleibt die Integrität der Fasern beim Mischen erhalten, so dass die Streuung der Frischbetoneigenschaften begrenzt werden kann. In Bild 3 sind einige Ergebnisse der Biegezugversuche mit der neuen Fasergeometrie dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass das Nachbruchverhalten durch die Zugabe des neuen Fasertyps nennenswert verbessert werden kann. Man kommt dem Verhalten des UHPC mit Stahlfasern näher.

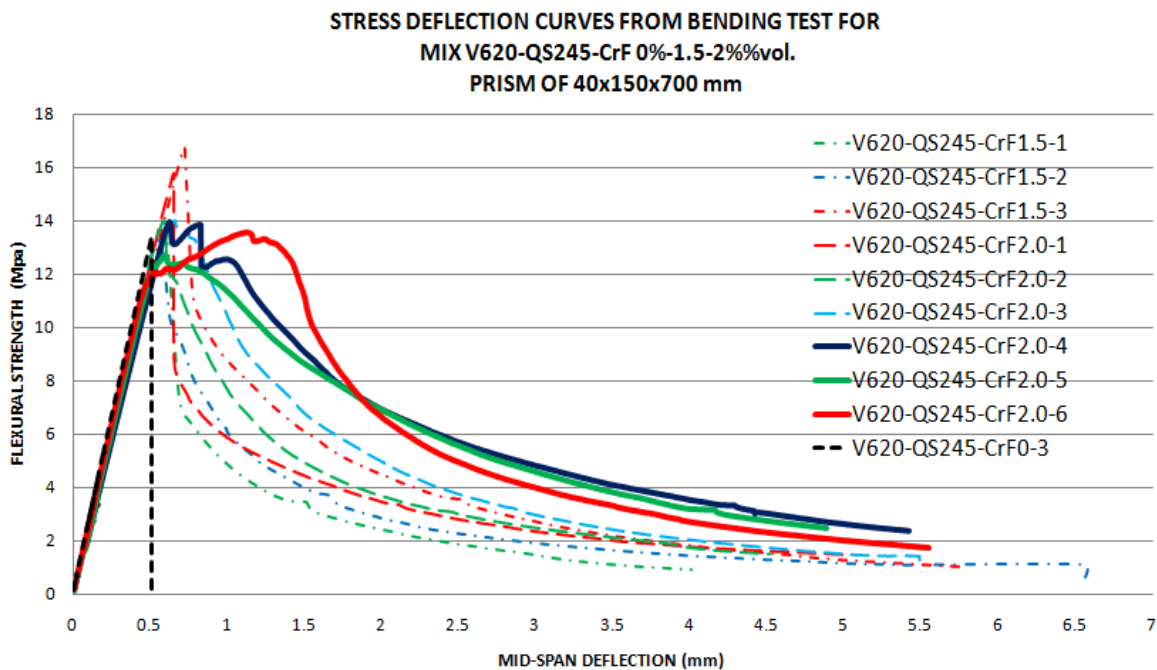


Bild 3: Biegezugfestigkeit in Abhängigkeit des Faserzusatzes

Insgesamt kann festgestellt werden, dass das Zugtragverhalten des mit Carbonfasern verstärkten UHPC durch die Änderung der Fasergeometrie deutlich verbessert werden kann. Weitere Optimierung der Fasergeometrie und der Zementmatrix werden zurzeit am Institut für Betonbau der TU Graz durchgeführt, um den Durchbruch von Carbonfasern in Bezug auf die Anwendung im Hochleistungsbeton zu erreichen. Diese Forschungsarbeit wird weiterhin von den beiden Projektpartnern SGL Group und Dyckerhoff AG unterstützt.

Literatur

[1] Tue, N. V.: Eigenschaften von mit Carbonfasern verstärkten UHPC. VÖZ Kolloquium 2011.

Einfluss der Oberflächenstruktur auf die mechanischen Verbundeigenschaften von Beton-Beton-Verbundbaustoffen

DI Dr. techn. Martin Peyerl

Vereinigung der österreichischen Zementindustrie – Abteilung Beton

In Zukunft werden Instandsetzungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen von Betonkonstruktionen zunehmend an Bedeutung gewinnen. Im Rahmen dieser Arbeiten stellt sich oft grundsätzlich die Frage, wie Verbunde zwischen zwei Betonschichten bestmöglich herzustellen sind. Um den Einfluss unterschiedlicher Oberflächenprofilierungsmaßnahmen auf die Verbundeigenschaften zu untersuchen, erfolgte im Rahmen von Laborversuchen die Herstellung von 6 unterschiedlichen Oberflächenprofilierungen auf einem Brückentragwerksbeton. Nach der Durchführung dieser in Tabelle 1 zusammengestellten Profilierungsmaßnahmen erfolgte das Aufbringen einer zweiten Betonschicht.

Tabelle 1: Profilierungsmaßnahmen und Vorbereitung der Oberflächen

Probekörper	Oberflächenbearbeitung
1	Eindrücken von Dreikantleisten in den Frischbeton + HDWS
2	Eindrücken von Stahlrohren + HDWS
3	Glattes Abziehen der Fläche + HDWS
4	Herstellen einer glatten Oberfläche mit Feinteilanreicherung
5	Glattes Abziehen der Fläche
6	Strukturieren der Oberfläche mit einem Stahlrechen + HDWS

Bei der Herstellung von Beton-Beton-Verbundkonstruktionen wird derzeit zur Charakterisierung der Oberflächenbeschaffenheit das Sandflächenverfahren nach N. Kaufmann [1] eingesetzt. Um bessere Zusammenhänge zwischen Oberflächenvorbereitung und Verbundeigenschaften herstellen zu können, wurde darüber hinaus ein dreidimensionales digitales Oberflächenmodell von unterschiedliche bearbeiteten Flächen hergestellt. Anhand dieses Modells können unterschiedlichste Parameter im Rahmen von Profil-, Flächen- und Volumenanalyse ausgewertet werden [2]. Abbildung 1 zeigt beispielhaft das dreidimensionale Oberflächenmodell einer mittels Hochdruckwasserstrahlen bearbeiteten Betonoberfläche sowie das zugehörige Profil entlang einer beliebig gewählten Gerade.

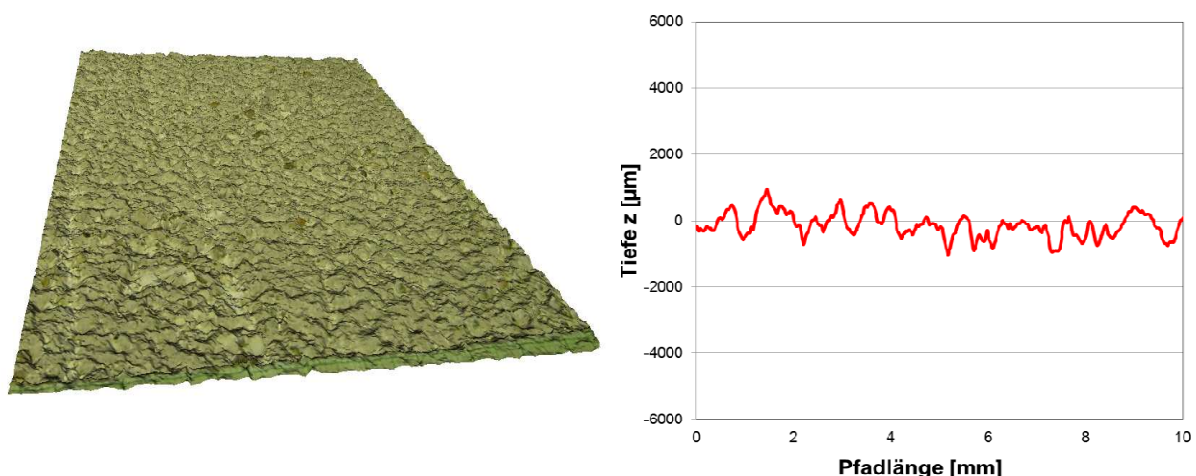


Abbildung 1: Dreidimensionales Oberflächenmodell einer hochdruckwassergestrahlten Fläche (3) sowie zugehöriges Oberflächenprofil

Auf Basis der Oberflächenanalyse sollten Aussagen über die aus den Profilierungsmaßnahmen resultierenden Verbundeigenschaften getroffen werden können. Neben der derzeit üblichen Charakterisierungsmethode, der Prüfung der Haftzugfestigkeit

[3], wurden ebenso Verbundkennwerte mit der Keilspaltmethode nach Tschegg [4] ermittelt. Mit dieser Prüfmethode können bei stabilem Risswachstum die bruchmechanischen Kennwerte Kerbspaltzugfestigkeit sowie spezifische Bruchenergie ermittelt werden. Abbildung 2 zeigt die an den unterschiedlichen Oberflächen ermittelte Haftzugfestigkeit (σ_{HZ}) sowie die mit der Keilspaltmethode ermittelte spezifische Bruchenergie (G_F).

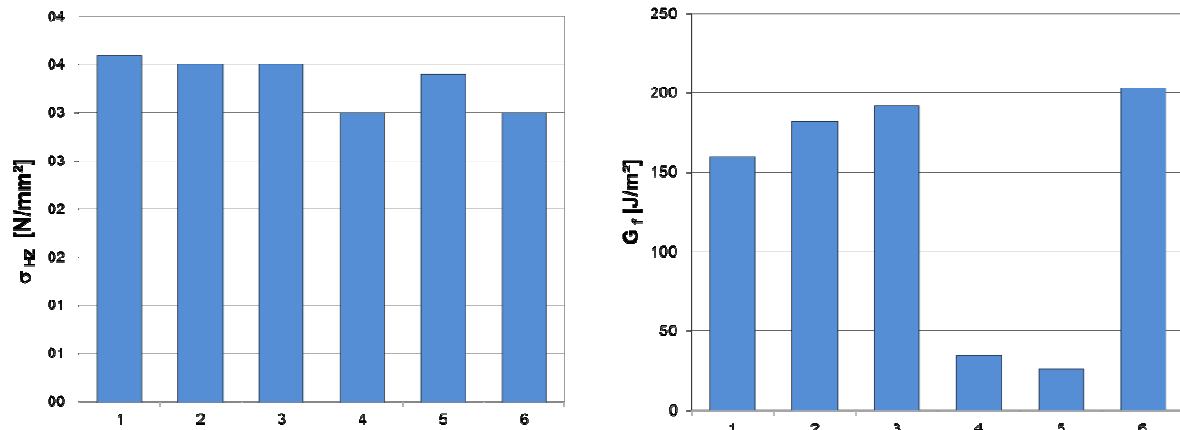


Abbildung 2: Haftzugfestigkeit (σ_{HZ}) sowie spezifische Bruchenergie (G_F) ermittelt an den unterschiedlich profilierten Oberflächen

Aufgrund des Untersuchungsprogramms zeigte sich, dass durch die Ermittlung der Oberflächeneigenschaften mit dem Sandflächenverfahren nach N. Kaufmann sowie Beurteilung des Verbundes durch Bestimmung der Abreißfestigkeit nur bedingt Aussagen über die Tragverhalten der Verbundfuge getroffen werden können. Durch die Aufnahme der Oberfläche mittels fotooptischem Verfahren sowie Bestimmung der bruchmechanischen Kennwerte der Verbundfuge wurde gezeigt, mit welcher Oberflächentextur optimale Verbundeigenschaften erreicht werden können. Es wurden beispielsweise, wie in Abbildung 3 dargestellt, eine sehr gute Relation zwischen dem Materialanteil wahrer zur projizierter Fläche und der spezifischen Bruchenergie hergestellt. Auf Basis dieser Untersuchungen konnten somit Zusammenhänge, welche Oberflächen Ausbildung gute Verbundeigenschaften sowie welche weniger gute Verbundeigenschaft liefert, hergestellt werden.

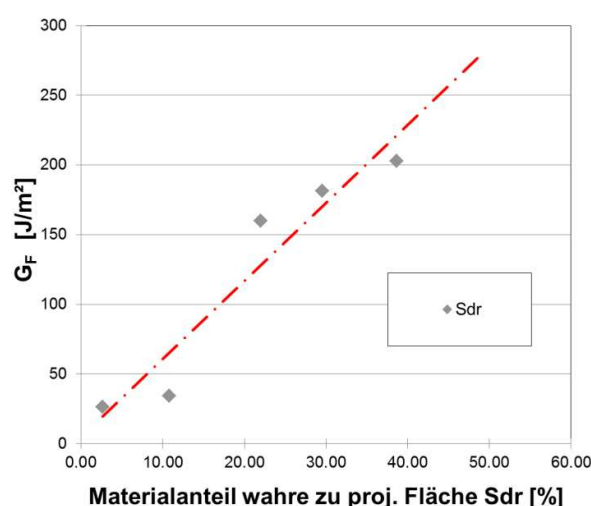


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen dem Materialanteil wahrer zur projizierter Fläche (S_{dr}) und der spezifischen Bruchenergie (G_F)

Literatur:

- [1] KAUFMANN, N. (1971): Das Sandflächenverfahren – Ein einfaches Verfahren zur Messung und Beurteilung der Textur von Fahrbahnoberflächen, Straßenbautechnik 3/71
- [2] PEYERL, M.; BERGER, J. (2011): Vorgespannte Betonbrücken ohne Abdichtung und Fahrbahnbelag, BMVIT Straßenforschung, Heft 599, Wien
- [3] ONR 23303 (2010): Prüfverfahren Beton (PVB) – Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seiner Ausgangsstoffe, Austrian Standards Institute / Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [4] ÖNORM B 3592 (2011): Bestimmung der Kerbspaltzugfestigkeit und der spezifischen Bruchenergie von Baustoffen, Baustoffverbindungen und Verbundwerkstoffen, Austrian Standards Institute / Österreichisches Normungsinstitut (ON)

Großversuche und Struktursimulationen zur Sicherheit von Hohlrumbauten unter Feuerlast

Matthias Zeiml^{1,2)}, Aram Amouzandeh¹⁾, Thomas Ring¹⁾, Yiming Zhang¹⁾, Roman Lackner³⁾

¹⁾ Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen (IMWS), Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/202, 1040 Wien

²⁾ Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH, Diesterweggasse 3, 1140 Wien

³⁾ Materialtechnologie Innsbruck (MTI), Universität Innsbruck
Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck

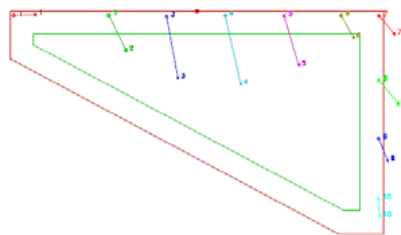
Die Beurteilung der Nachhaltigkeit und Dauerhaftigkeit von kritischer Infrastruktur muss die Betrachtung der Struktursicherheit im Brandfall einschließen. Hierbei kann eine realitätsnahe Abbildung des Strukturverhaltens unter Feuerlast nur gewährleistet werden, wenn alle relevanten Prozesse und deren Zusammenhänge mit ausreichender Genauigkeit berücksichtigt werden.

Im Zuge des Forschungsprojekts „Sicherheit von Hohlrumbauten unter Feuerlast“, gefördert vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bm.vit) im Rahmen des Förderungsprogramms für Sicherheitsforschung (KIRAS) wurden Forschungsaktivitäten bezüglich der Bestimmung der Temperaturbelastung der Stahlbetonstruktur aufgrund von in Hohlrumbauten auftretenden Brandlasten, des Materialverhaltens von brandbelastetem Beton sowie der Struktursimulation von Hohlrumbauten unter Brandbelastung durchgeführt.

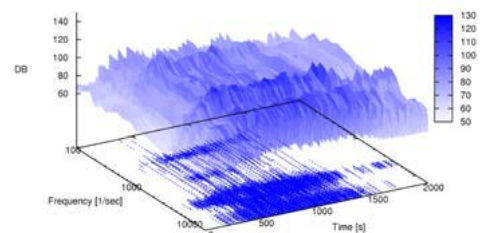
Die Forschungsaktivitäten umfassten die Durchführung von Klein- und Großbrandversuchen (im Maßstab 1:2, siehe Abbildung 1), die das Verhalten eines rechteckigen Tunnelquerschnitts mit 12 m Stützweite wiedergeben sollten. Die experimentellen Ergebnisse (Temperaturverteilungen, Verformungen, Abplatzungen, Risse etc.) wurden in einem ausführlichen Bericht zusammengestellt [1].



(a)



(b)



(c)

Abbildung 1: Großversuch zur Validierung der Simulationsprogramme: (a) Dreiecksrahmen (M 1:2) zur Untersuchung des Strukturverhaltens eines Rechteckquerschnitts unter Brandbelastung (mit mechanischer Auflast in Form von Stahlgewichten); (b) gemessene Verformungen; (c) Intensität der Abplatzungen (akustische Aufnahme während des Brandversuchs)

Mit Hilfe der gewonnenen, experimentellen Daten wurden Rückschlüsse auf das Material- und Strukturverhalten von brandbelastetem Beton gezogen. Außerdem wurden die Messergebnisse zur Entwicklung bzw. Verifikation einer realitätsnahen Analyseverfahren zur Struktursimulation von Hohlrumbauten unter Feuerlast herangezogen [2,3]. Es zeigte sich, dass eine nichtlineare Modellierung des Material- und Strukturverhaltens im Vergleich zu einer linear-elastischen Simulation Ergebnisse mit weit größerer Realitätsnähe liefert [3].

Das entwickelte, nichtlineare Struktursimulationstool wurde in handelsüblichen Strukturprogrammen implementiert. Dies ermöglicht in der Ingenieurpraxis die realitätsnahe Prognose des Strukturverhaltens unter Feuerlast (z. B. Berücksichtigung von Schnittkraftumlagerungen, realistische Abschätzung der zu erwartenden Verformungen). Des Weiteren werden die gewonnenen Erkenntnisse sowie Schlussfolgerungen aus weiteren Simulationen (Benchmarks) bei der Erstellung der ÖBV-Richtlinie "Erhöhter Brandschutz mit Beton für unterirdische Verkehrsbauwerke" einfließen. In dieser Richtlinie sollen Empfehlungen zur Wahl des Rechen- bzw. Materialmodells in Abhängigkeit der Querschnittsform sowie des zu erreichenden Schutzniveaus bzw. des Nachweiszeitpunktes gegeben werden. Ziel dieser Empfehlungen ist einerseits eine wirtschaftliche Dimensionierung bei vertretbarem Rechenaufwand und andererseits eine realitätsnahe Prognose des Strukturverhaltens im Brandfall.

Literatur

- [1] T. Ring, M. Zeiml, R. Lackner, Brandversuche zum Abplatz- und Strukturverhalten von Tunnel mit Rechtecksquerschnitt, Abschlussbericht, 2012.
- [2] T. Ring, M. Zeiml, R. Lackner, Underground concrete frame structures subjected to fire loading: Part I – large-scale fire tests, Engineering Structures, 2012, in Druck.
- [3] T. Ring, M. Zeiml, R. Lackner, Underground concrete frame structures subjected to fire loading: Part II – re-analysis of large-scale fire tests, Engineering Structures, 2012, in Druck.

Forschungskonsortium:

- Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen, TU Wien
- Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Universität für Bodenkultur Wien
- Materialtechnologie Innsbruck, Universität Innsbruck
- Schimetta Consult ZT GmbH
- Ingenieurbüro Dr. Lindlbauer
- ÖBB-Infrastruktur Bau Aktiengesellschaft
- ASFINAG Autobahn- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft
- Wiener Linien GmbH & Co KG
- ARGE Bautech
- Forschungsinstitut der Vereinigung der österreichischen Zementindustrie

Kontakt:

DI Dr. Matthias Zeiml
matthias.zeiml(at)tuwien.ac.at
zeiml(at)fcg.at

Prof. DI Dr. Roman Lackner
roman.lackner(at)uibk.ac.at

Dipl.-Ing. Dr. Peter Holzer
 Department für Bauen und Umwelt
 Donau-Universität Krems
peter.holzer@donau-uni.ac.at

Aktive Speichermassenbewirtschaftung von Bauteilen aus Beton

Kurzfassung

Der vorliegende Beitrag beinhaltet eine systematische Aufbereitung ausgewählter thermodynamischer Grundlagen der thermischen Speichermassenbewirtschaftung von Bauteilen aus Beton.

Diskutiert und anschaulich dargestellt werden die relevanten thermodynamischen Eigenschaften des Materials an sich, sowie die Potentiale zweier exemplarischer Systeme, erstens der kernaktivierten Kühldecke und zweitens der Speichermassenbewirtschaftung durch sommerliche Nachtlüftung.

Zuletzt wird ein Ausblick gegeben auf gegenwärtige und geplante Forschungsvorhaben im gegenständlichen Themenfeld.

Thermodynamische Grundlagen

Beton eignet sich wie kein zweites gängiges Baumaterial zur aktiven und passiven thermischen Aktivierung. Zwei Eigenschaften sind dafür ausschlaggebend:

Erstens verfügt Beton mit 1,8 W/mK über eine außerordentlich hohe Wärmeleitfähigkeit.

Zweitens verfügt Beton über sein bekannt hohes spezifisches Gewicht von 2.400 kg/m³, das in Verbindung mit der für anorganische Baustoffe typischen Wärmespeicherkapazität von 1,0 kJ/kgK für eine hohe volumsbezogene Wärmespeicherfähigkeit sorgen.

Die Verbindung beider Eigenschaften begründet eine exzellente Eignung von Betonbauteilen zur thermischen Bewirtschaftung, sowohl indirekt über konvektive und radiativen Wärmefluss über die Bauteiloberfläche, als auch direkt über Wärmezu- oder -abfuhr im Mittelbereich der Dickenausdehnung, meist durch wasserführende Systeme.

In der folgenden Tabelle x sind die erwähnten thermodynamischen Kenngrößen vergleichend für Stahlbeton sowie für die Baumaterialien porosierter Ziegel, Weichholz und Gipskarton dargestellt.

				>28cm Beton	>18cm Ziegel	>10cm Holz	2,5cm GKP
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/mK		1,8	0,2	0,1	0,2
Wärmespeicherkapazität	c_p	kJ/kgK		1,0	1,0	2,5	1,1
Spezifisches Gewicht	ρ	10 ³ kg/m ³		2,4	0,8	0,5	0,9
Temperaturleitfähigkeit	a	10 ⁻⁶ m ² /s	$a = \lambda / (\rho * c_p)$	0,8	0,3	0,1	0,2
dynamische Eindringtiefe für T=24h	δ	m	$\delta = T * a / \pi$	0,14	0,09	0,05	0,08
flächenbez. wirksame Wärmekapazität	χ'	Wh/(m ² K)	lt EN ISO 13786 A.2.3.	27	13	12	1
volumsbezogene Wärmespeicherfähigkeit	C	Wh/(m ³ K)	$C = \rho * c_p$	667	222	347	263

Tabelle 1: Thermodynamische Kennwerte exemplarischer Baustoffe

In der obigen Tabelle zu beachten sind insbesondere die gegenüber den anderen drei Baustoffen um zumindest einen Faktor neun größere Wärmeleitfähigkeit von Beton, sowie die um zumindest einen Faktor zwei größere flächenbezogene wirksame Wärmekapazität sowie die um zumindest einen Faktor drei größere volumsbezogene Wärmespeicherfähigkeit.

Hinzuweisen ist darauf, dass es sich bei der flächenbezogene wirksame Wärmekapazität um die wirksame Speicherfähigkeit für eine 24h Periode, bezogen auf eine sinusförmige Tagesschwankung der Raumtemperatur, während die volumsbezogene Wärmespeicherfähigkeit die absolute, auf die mittlere Temperaturveränderung des Bauteils selbst bezogene Speicherfähigkeit abbildet.

Exemplarische Anwendung: Kernaktivierte Kühldecke

Die betonkernaktivierte Decke ist, insbesondere für Kühlzwecke, ein im Bürobau mittlerweile gängiges und bewährtes Element der Raumkonditionierung. In diesem gebäudetechnischen System werden die beiden eingangs beschriebenen Eigenschaften des Betons (hohe Wärmeleitfähigkeit und hohe volumsbezogene Wärmespeicherfähigkeit) gezielt genutzt und in ein ebenso einfaches wie wirkungsvolles Element der geräusch- und zugfreien Raumkonditionierung integriert:

Es ist die hohe Wärmeleitfähigkeit von Beton, die es ermöglicht, mit der Verlegung wasserführender Rohre im Abstand von 20cm und mehr eine wirksame Querverteilung der Wärmeströme zu den wasserführenden Rohren sicherzustellen und auf ein eigenes Element der horizontalen Wärmeverteilung verzichten zu können, wie es bei den meisten anderen Deckenkühlsystemen erforderlich ist. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht in einer Symbolskizze diese Eigenschaft.

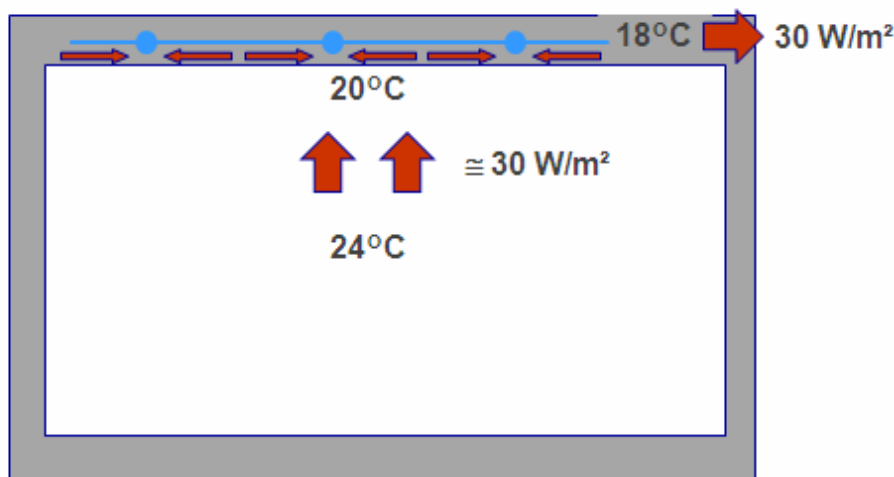


Abbildung 1: Thermodynamisches Funktionsschema der kernaktivierten Kühldecke

Bei den angegebenen, typischen Temperaturniveaus wird demnach eine Wärmelast in der Größenordnung von 30 Watt pro Quadratmeter aktivierter Deckenfläche aufgenommen und vom wasserführenden System abtransportiert.

Kommt es im Raum zu erhöhten Wärmelasten und daraus folgend zu Temperaturerhöhung auf z.B. 27°C Raumtemperatur, steigt auch die abgeführte Wärmeleistung auf typischerweise 50 W/m².

Jedes andere Deckenkühlsystem müsste regelungstechnisch reagieren und mit einer Senkung der Kaltwasser-Vorlauftemperatur oder mit einer Erhöhung des Massendurchsatzes eine Abfuhr der erhöhten Wärmelast sicherstellen.

Der Betonkernaktivierung kommt aber die Wärmespeicherfähigkeit zugute. Unter der Annahme einer wirksam bewirtschafteten Schichtdicke von 20cm beinhaltet der Bauteil eine Wärmespeicherfähigkeit von ca. 130 Wh pro m² aktivierter Fläche. Mit nur einer mittleren Temperaturerhöhung kann also die Mehrleistung von 20 W/m² über sechs Stunden lang aufgenommen werden, ohne zu Spitzenlastzeiten die Wärmeabfuhr in das wasserführende System erhöhen zu müssen.

Abbildung veranschaulicht diesen Effekt.

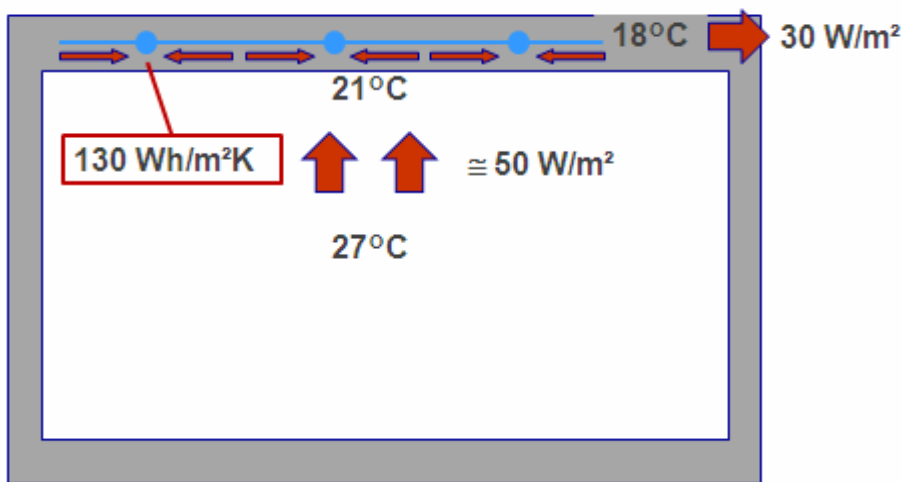


Abbildung 2: Thermodynamisches Funktionsschema der Spitzenlastpufferung der kernaktivierten Kühldecke

Zusammenfassend ist die anerkannt hohe Funktionalität der kernaktivierten Kühldecke aus Betonbauteilen demnach begründet erstens in der ausgezeichneten Querverteilung der Wärmeströme aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit sowie zweitens in der gute Spitzenlastabfederung aufgrund der hohen thermischen Speicherkapazität des Materials.

Exemplarische Anwendung: Sommerliche Nachtlüftung

Eine weitere, gegenüber der kernaktivierten Decke sogar noch weitaus erprobtere Technologie zur Ausnutzung massiver Bauteile zur sommerlichen Raumkonditionierung ist die Nachtlüftung. Dieses traditionelle Element ist in der Architektur aller Klimazonen mit sommerlichem Kühlbedarf bekannt, in denen im Sommer ein nennenswerter Tagesgang der Außentemperatur vorliegt.

Thermodynamisch kann der Prozess der Raumentwärmung durch Nachtlüftung in vier Teilprozesse zerlegt werden:

1. Ladung durch konvektiven u. radiativen Wärmetransport in den Bauteil

2. Speicherung im Bauteil
3. Entladung durch konvektiven Wärmetransport aus dem Bauteil
4. Wärmeabfuhr durch Außenluftwechsel

Abbildung veranschaulicht diese vier Teilprozesse.

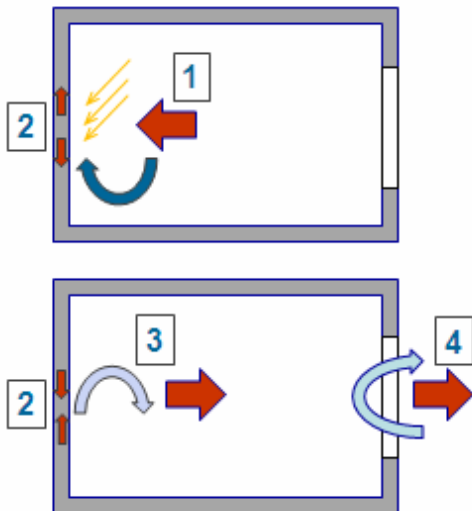


Abbildung 3: Thermodynamische Teilprozesse der Raumentwärmung durch Nachtlüftung

Werden realistische Randbedingungen für Temperaturniveaus, Wärmeübergangskoeffizienten, Wärmespeichereigenschaften und Luftwechsel zugrunde gelegt, ergibt sich für das Gesamtsystem das nachfolgend skizzierte Zusammenwirken der Teilprozesse.

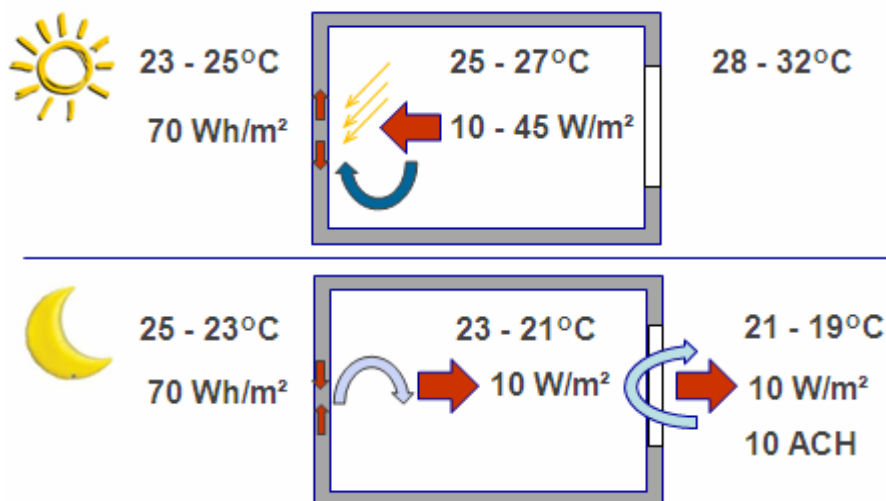


Abbildung 4: Thermodynamischer Gesamtprozess der Raumentwärmung durch Nachtlüftung

Abbildung veranschaulicht einige wichtige Randbedingungen für erfolgreich umgesetzte Nachtlüftungskonzepte:

- Dem Raum selbst muss ein nennenswerter Tagesgang seiner Luft- bzw. Raumtemperatur zugestanden werden, wie er in obigem Funktionsschema mit Raumtemperaturen bis 27°C abgebildet ist.
- Selbst bei Mischbauweise oder bei Berücksichtigung diverser Wärmedurchgangswiderstände durch raumseitige Bauteilschichten steht eine adäquate Wärmespeicherkapazität von z.B. 70 Wh/m² der umschließenden Bauteile zur Verfügung.
- Für eine wirksame nächtliche Wärmeabfuhr muss für niedrige Raumtemperaturen gesorgt werden, jedenfalls unter 21 – 23°C.
- Als das Nadelöhr im System stellt sich der vierte Teilprozess, die Wärmeabfuhr durch den Außenluftwechsel heraus. Unter realistischen Annahmen zum Raumvolumen und zum daraus resultierenden Verhältnis der aktivierten Flächen zum Raumvolumen ergibt sich die Notwendigkeit von Außenluftwechseln in der Größenordnung von 10 1/h.

Für die praktische Ausführung hat die passive Speichermassenbewirtschaftung durch Nachtlüftung als kostengünstiges und unschlagbar langlebiges und robustes System nach wie vor ein hohes Potential, allerdings nur dann, wenn folgende Randbedingungen hergestellt werden:

- Hoher, durchaus 10-facher (!), Außenluftwechsel
- Funktionalität in Bezug auf Bedienkomfort, Intimität, Einbruchschutz, Witterungsschutz, Lärmschutz, Staubimmissionsschutz

Mit der neuen ÖNORM B 8110-3 (2012) steht in Österreich ein aktuelles Planungshilfsmittel für Planung und Nachweis des thermischen Sommerverhaltens von Räumen ohne technische Kälte zur Verfügung, in dem auch die Nachtlüftung berücksichtigt wird.

Ausblick: Zeitliche und örtliche Lastverschiebung durch aktive Speichermassenbewirtschaftung

Aktuelle Forschungsaktivitäten zielen auf die Entwicklung gebäudetechnischer Systeme zur zeitliche und örtlichen Lastverschiebung mittels aktiver Speichermassenbewirtschaftung. In Frage kommen Kombinationen aus den folgend genannten Funktionen, wie sie auch in der nachfolgenden Abbildung schematisch veranschaulicht sind:

- Sommer: Örtliche Verschiebung von Wärmelasten aus thermisch belasteten Gebäudebereichen in solche mit verfügbaren Speichermassen
- Winter: Örtliche Verschiebung von Wärmeströmen aus Gebäudebereichen mit Wärmegewinnen in solche mit Wärmebedarf.
- Kurzzeitspeicherung von Wärmegewinnen/Wärmelasten in aktivierter Speichermasse mit Bewirtschaftung im „Pendelbetrieb“
- Thermische Ankopplung von erdberührten Bauteilen

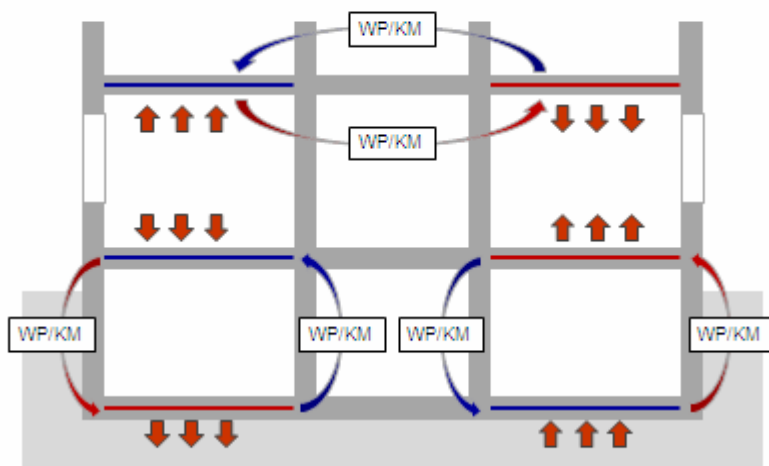


Abbildung 5: Funktionsschema der Lastverschiebung durch aktive Speichermassenbewirtschaftung

Offene Fragen bestehen dabei insbesondere in der regelungstechnischen Sicherstellung eines effizienten und dennoch robusten Betriebszustandes und auch in der Festlegung geeigneter Temperaturniveaus dieser Systeme, mit der speziellen Frage, ob grundsätzlich ein Pendelbetrieb ohne technischer Wärme- und Kälteerzeugung machbar erscheint, oder ob grundsätzlich eine Wärmepumpe bzw. eine Kältemaschine zwischenzuschalten sein wird.

Gegenwärtig sind dem Autor folgende konkrete Forschungsvorhaben zum Themenfeld der Untersuchung und Weiterentwicklung der thermischen Bewirtschaftung von Bauteilen aus Beton bekannt, teils mit eigener Beteiligung:

1. 2011 – 2013: Bauakademie Salzburg, ARGE „Salzburger Netzwerk für Nachhaltige Bauteilaktivierung“, TU-Wien, VÖZ. Experimentelle Messungen an freistehendem, thermisch aktiviertem Betonkubus
2. 2011 – 2014: Donau-Universität Krems, Austrian Institut of Technology, MABA, Trepka, Oberndorfer, VÖB. Experimentelle Messungen an zwei thermisch aktivierten Betonkellern
3. In Vorbereitung für 2013 - 2015: Donau-Universität Krems, Fachhochschule Pinkafeld, VÖZ. Systementwicklung und experimentelle Anwendung der gewonnenen Ergebnisse in einem mehrgeschoßigen Wohngebäude
4. In Vorbereitung für 2013 – 2015: International Energy Agency. Annex „Ventilative Cooling“ zum IEA Task 40 – ECBCS, Donau-Universität Krems als österreichischer Vertreter angefragt.

Ein neues Beurteilungsverfahren der Konsistenz von Selbstverdichtenden Betonen

Wolfgang Kusterle, Florian Fleischmann, Hochschule Regensburg

Peter Christlmeier, Rohrdorfer Zement

Selbstverdichtender Beton (SCC oder SVB) ist ein Beton, der ohne Einwirkung zusätzlicher Verdichtungsenergie allein unter dem Einfluss der Schwerkraft fließt, entlüftet sowie die Bewehrungszwischenräume und die Schalung vollständig ausfüllt. Aufgrund dieser Eigenschaften hat die Anwendung von SCC eine Reihe technischer, ökologischer und ökonomischer Vorteile.

Trotz dieser Vorteile ist der Marktanteil derzeit eher gering. Der große Nachteil des SCC liegt in seiner geringen Robustheit gegenüber Schwankungen in den Ausgangsstoffen (Feuchte, Sieblinie, Kornform) und deren Dosierung. Bereits kleine Schwankungen in den Ausgangsstoffen und dem Wassergehalt überfordern die automatischen Steuermechanismen der auf die Herstellung von Normalbeton ausgelegten Mischanlagen. Bei Normalbeton kann die Konsistenz von Frischbeton vielfach durch die Leistungsaufnahme am Mischer beurteilt werden. Bei Selbstverdichtenden Betonen sind die gemessenen Werte aber zu ungenau um auf die Konsistenz schließen zu können.

Daher ist bei der Herstellung von SCC eine zusätzliche Qualitätsprüfung notwendig. Die einfachste und gängigste Methode ist die Kontrolle durch einen Laboranten. Erfahrene Mitarbeiter können bereits durch eine Sichtkontrolle Aussagen über die Qualität der Frischbetoneigenschaften machen. Hat man die Möglichkeit mit einer Schaufel durch den Beton zu fahren, dann können noch genauere Auskünfte gemacht werden. In einer Mischanlage ist dies aber kaum permanent möglich. Beide Methoden haben den Nachteil dass es sich um eine subjektive Wahrnehmung handelt und jeder Laborant die Qualität etwas anders beurteilen würde. Aus diesem Grund werden zur genaueren Messung so genannte Ein-Punkt-Messsysteme, wie zum Beispiel das Fließmaß (auch Setzfließmaß), die Blockierneigung und die Sedimentationsstabilität eingesetzt. Die Bezeichnung „Ein-Punkt-Messsysteme“ kommt daher, dass pro Versuch immer nur eine Aussage gemacht werden kann. So gibt das Fließmaß nur Auskunft über die „Fließgrenze“ und die Trichterauslaufzeit (Standardprüfung für SCC in Deutschland) soll Auskunft über die „Viskosität“ liefern. Diese Informationen helfen bei der Einstellung eines gut funktionierenden SCC. Der Vorteil dieser Messverfahren ist, dass sie einfach und relativ schnell durchzuführen sind, sowie gut für den Baustelleneinsatz geeignet sind. Für einen laufenden Einsatz während der Produktion sind diese Messverfahren aber nicht geeignet. Ein weiterer Nachteil ist, dass es sich lediglich um empirische Messverfahren handelt, die keine Aussagen über die rheologischen Eigenschaften zulassen. Um zu den rheologischen Eigenschaften Aussagen machen zu können verwendet man Rheometer. Diese „Zwei-Punkt-Messsysteme“ haben den Vorteil dass sie rheologische Kennwerte liefern. Meist bringen sie aber viele Nachteile mit sich. So werden die Proben ständig durchgeschert und es kann leicht ein Wandgleiten im Messbehälter auftreten. Beide Effekte führen dazu, dass die Ergebnisse verfälscht werden und somit keine eindeutigen Aussagen und Vergleiche möglich sind. Zudem sind die Geräte zum Teil sehr groß, teuer und umständlich in der Handhabung. Ein Einsatz in der laufenden Produktion ist daher ebenfalls meist nicht möglich.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts hat die Hochschule Regensburg, in Kooperation mit Rohrdorfer Zement und Schleibinger Geräte, sich zum Ziel gesetzt, ein Messgerät zu entwickeln, das in einer kurzen Mischpause des Betonmischers in den Beton fährt und die rheologischen Eigenschaften des Betons ermittelt und somit Aussagen über die Qualität macht. Das Projekt wird dankenswerterweise vom Deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.

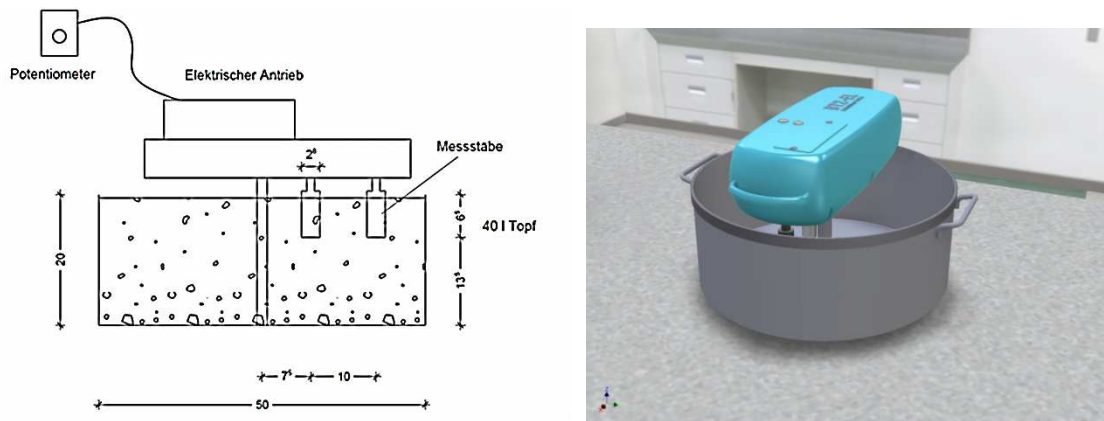


Abbildung 1: Neuer Betonrheometer BT2e (links: Skizze; rechts: Animation der Fa. Schleibinger Geräte)

In einem ersten Schritt wurde der am Markt erhältliche Betonrheometer BT2 der Firma Schleibinger getestet. Dabei hat man festgestellt dass das Gerät, so wie es produziert wird, für die Prüfung von SCC nicht geeignet ist. Das Gerät wurde daraufhin in mehrerer Hinsicht modifiziert. Der Antrieb wurde automatisiert, die Topfgröße verändert, die Messgeometrie angepasst und die Auswertmethode überarbeitet. Das Ergebnis ist ein Messgerät, das Aussagen über mehrere rheologische Parameter und somit über die Konsistenz geben kann. Die oben erwähnten Nachteile der üblichen Betonrheometer konnten durch die diversen Umbauten ausgeschlossen werden. Der neue BT2e kann durch die Änderungen für die Beurteilung Selbstverdichtender Betone im Labor verwendet werden.

Die Auswertung von Laborversuche an unterschiedlichen Selbstverdichtenden Betonen mit diesem Messgerät wird vorgestellt. Durch die gewählten Messabläufe können Fließgrenze und Viskosität nach dem Bingham Modell an ungestörten Proben und eine „statische“ und „dynamische“ Fließgrenze ermittelt werden. Damit stehen zur Beurteilung und Nachsteuerung des Betons deutlich mehr Informationen in kürzester Zeit zur Verfügung als mit den herkömmlichen Prüfmethode. Wie Vergleiche mit Betonen mit nur geringen Mischungsunterschieden zeigten, ist das Verfahren erstaunlich genau.

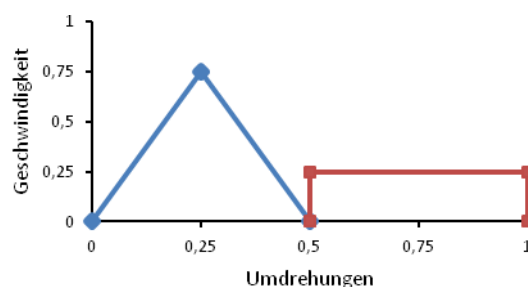


Abbildung 2: Messprofil, das während einer einzigen Umdrehung der Messstäbe gefahren wird. Abb. 3 gibt die Auswertung des Astes von 0,25 bis 0,5 Umdrehung wieder, Abb. 4 die Auswertung von 0,5 bis einer Umdrehung.

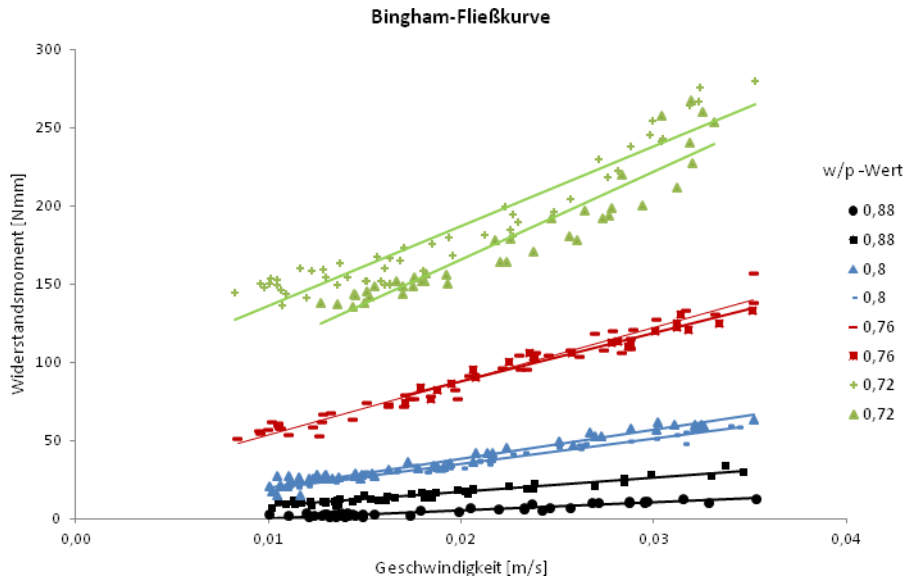


Abbildung 3: Vergleich von SCC-Mischungen mit unterschiedlichen Wassergehalten anhand einer Bingham-Fließkurve des absteigenden Astes des Messprofils (Fließgrenze und Viskosität)

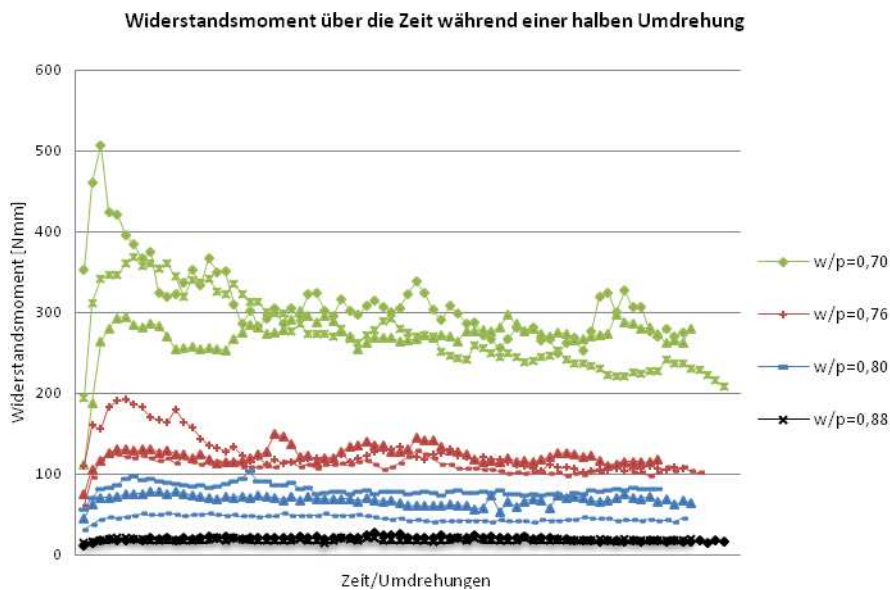


Abbildung 4: Vergleich von SCC-Mischungen mit unterschiedlichen Wassergehalten bei konstanter Schergeschwindigkeit. Möglichkeit einer Ableitung einer „Statischen“ und „Dynamischen“ Fließgrenze. (Ergebnisse der Abb. 3 und 4 sind aus unterschiedlichen Versuchsserien)

In einem zweiten Schritt soll dieses Messgerät in einen Labormischer mit einem Volumen von 75 l eingebaut werden. Mit Abschluss des Forschungsprogramms soll schließlich ein Prototyp des Messgerätes in einem Transportbetonwerk laufen um die zielsichere Herstellung von Selbstverdichtenden Betonen zu erleichtern.



DI Stefan Marchtrenker
Mag.(FH) DI Dr. Stefan Krispel
DI Dr. Alexander Reinisch

Wien, November 2012

Kolloquium 2012 Forschung & Entwicklung für Zement und Beton

Frischbetondruck: Einflussgrößen, Steuerungsmöglichkeiten und Beurteilung

Die Weiterentwicklung der Betontechnologie ermöglicht durch reduzierten Verdichtungsaufwand bei weichen, hochfließenden bis selbstverdichtenden Betonen immer schnellere Steiggeschwindigkeiten beim Betonieren. Neben reduzierten Vibrations- und Lärmbelastungen als Verringerung der Belastung von Arbeitnehmern stellt die dadurch mögliche Zeitersparnis ein bedeutendes Potential zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit von Ortbetonarbeiten dar.

Diesem Vorteil der Wirtschaftlichkeit steht ein erhöhter Frischbetondruck auf die Schalung gegenüber, welcher bei unzureichender Abstimmung zwischen Beton und Schalung (Betoneigenschaften, Schalungsdimensionierung) zu unvorhergesehenen Verformungen bis hin zum Versagen der Schalungskonstruktion, und damit zu einem bedeutenden Sicherheitsrisiko sowie unvorhergesehenen Verzögerungen des Bauprozesses, führen kann. Daher muss die Schalung bei weichen Konsistenzen und einer Betonierhöhe ab ca. 3,3 Meter (darunter werden hydrostatische Bedingungen üblicherweise durch herkömmliche Schalungssysteme abgedeckt) in Abhängigkeit von Betonzusammensetzung und Steiggeschwindigkeit genau auf den auftretenden Frischbetondruck abgestimmt werden. Für eine wirtschaftliche Vorausberechnung des zu erwartenden Schalungsdruckes muss darüber hinaus die zeitliche Entwicklung der Eigentragsfähigkeit (gekennzeichnet z.B. durch das Erstarrungsende t_E gemäß DIN 18218) der verwendeten Betonzusammensetzung abgeschätzt werden können. Dafür gibt es in Österreich gegenwärtig allerdings kein normativ geregeltes Verfahren.

Auf Grund der Bedeutung dieser Abstimmung zwischen Betonzusammensetzung, Steiggeschwindigkeit und Schalung wurde ein durch die FFG gefördertes Forschungsprojekt („Optimierung des Bauprozesses und Erhöhung der Arbeitnehmersicherheit durch Steuerung des Frischbetondruckes“) mit dem Ziel der Abklärung nachstehender Fragestellungen ins Leben gerufen:

- Nachweis der sicheren, einfachen und den Bauprozess optimierenden Herstellung von leicht verdichtbaren bzw. fließfähigen Betonen.
- Entwicklung eines Betonkonzeptes, welches eine möglichst lange bzw. gemäß Norm geforderte Verarbeitungszeit zulässt und im Anschluss daran möglichst rasch eine ausreichende „Eigentragsfähigkeit“ des Betons bzw. ein rasches Erstarren entwickelt.
- Entwicklung einer baustellentauglichen Bestimmungsmethode der Eigentragsfähigkeit bzw. des Erstarrungsendes des Betons.

Für die Umsetzung dieser Ziele wurde eine Betonzusammensetzung aus in Österreich üblichen Betonausgangsstoffen (Zement der neuesten Generation mit optimierter Kornzusammensetzung und gängige Gesteinskörnung) gewählt und in einem ersten Schritt in Mörtelversuchen geeignete Zusatzmittel für ausreichende Konsistenzhaltung in der Verarbeitungszeit einerseits und raschem Erstarrungsverhalten andererseits, sowohl für sommerliche, als auch für winterliche Bedingungen, ermittelt.

Mit den ausgewählten Zusatzmitteln wurde schließlich in Laborversuchen am Beton mittels unterschiedlichsten Nachweisverfahren (Temperaturerhöhung, Knetbeutelverfahren, Hummssonde, Festigkeitsentwicklung usw.) das Erstarrungsverhalten und damit die Eigentragsfähigkeit bei sommerlichen und winterlichen Bedingungen untersucht.

Kern des Forschungsprojektes bildeten Feldversuche, bei denen die Ergebnisse der Nachweismethoden an exemplarischen Betonen an Versuchswänden mit Hilfe tatsächlicher Messung des Schalungsdruckes mittels Druckmessdosens überprüft wurden. Hierbei konnte die Vorhersage mittels Berechnung auf Basis der Bestimmungsmethoden der Eigentragfähigkeit mit den den tatsächlichen baupraktischen Gegebenheiten bei unterschiedlichen Jahreszeiten verglichen werden.



Abbildung: Versuchswände der Feldversuche

Durch diese Vorgehensweise konnten im Zuge des Forschungsprojekts folgende Punkte nachgewiesen werden:

- Der Frischbetondruck auf die Schalung ist durch geeignete Betonzusammensetzung, insbesondere durch geeignete Wahl der Zusatzmittel, abgestimmt auf die jahreszeitlichen Bedingungen steuerbar.
- Geeignete Verfahren zur Bestimmung des Erstarrungsendes und somit zur Vorausberechnung der zu erwartenden Drücke sind vorhanden (z.B. Temperaturerhöhung).
- Die Ergebnisse der gängigen Berechnungsmethoden (analog DIN 18218) liegen auf der „sicheren Seite“. Dennoch ist zur Überprüfung der Vorausberechnung und Optimierung des Bauprozesses die Überprüfung des tatsächlichen Druckes mittels Messung am Bauteil empfehlenswert.

Auf Basis der Ergebnisse kann im Vorfeld des Bauprozesses durch entsprechende Abstimmung der Schalung bzw. der Steiggeschwindigkeiten auf die zu erwartenden Drücke die Arbeitnehmersicherheit bei gleichzeitig hoher Wirtschaftlichkeit des Bauprozesses gewährleistet werden.



FFG



Chancen und Herausforderungen auf dem Weg zur nachhaltigen Produktion und Anwendung von Beton

Dr Jan Kluegge, BASF Construction Chemicals

Übersicht

Herstellung und Verwendung von Beton tragen signifikant zu den globalen CO₂ Emission bei. Produzenten sind gezwungen, CO₂ Emissionen und andere Umweltbelastungen zu senken, gleichzeitig ihre Prozesse kosteneffizient zu halten sowie die Qualität der Betone zu sichern. Beton Zusatzmittel sind zur Erreichung dieser Ziele von zentraler Bedeutung.

Eine wesentliche Hürde in der kommerziellen Vermarktung von nachhaltigen Betonen ist die Schwierigkeit ihre positiven sozio-ökonomischen und ökologischen Effekte zu quantifizieren. Dies kann durch Ökoeffizienzanalysen erfolgen, die eine qualifizierte Grundlage für entsprechend Produktdeklarationen liefern (zB DGNB, BREEAM, HQE, and LEED).

Ökobilanz von Beton

Etwa 30% der globalen Treibhausgasemissionen und bis zu 40% des Energieverbrauchs sind auf Gebäude und Bautätigkeit zurückzuführen. (1) ; die Bauindustrie und ihre Rohstofflieferanten haben einen nicht zu vernachlässigenden Anteil an der von Menschen verursachten Umweltveränderung (2) (3). Der private wie der öffentliche Sektor setzen zunehmend auf nachhaltiges Bauen. Dieser globale Trend wird durch ein wachsendes Netz von Zertifizierungsprogrammen und deren hohe Akzeptanz unterstrichen. Dies führt zu großen Innovationschancen auf allen Ebenen des Bauwesens (4). Der Wahl und Auslegung der Baustoffe, z.B. der Betonmischungen, kommt immer größere Bedeutung für die Umweltbilanz eines Gebäudes in der Bauphase zu. Dieser Aspekt ergänzt Maßnahmen der thermischen Isolierung und des modernen Energiemanagements, die die Energie- und Umweltbilanz eines Gebäudes während der Nutzungsdauer weiter verbessern.

Eine Herausforderung für Betonhersteller ist die Quantifizierung der Nachhaltigkeitsaspekte ihrer Produkte. Der BASF „Life Cycle Analyzer“ kann hierbei helfen. Er beurteilt den ökologischen Fingerprint einer realen Betonmischung anhand ausgewählter Parameter, wie zum Beispiel Beitrag zum Treibhauspotential („CO₂-Fußabdruck“), Verbrauch von Primärenergie oder Versauerungspotential, sowohl bei der Herstellung als auch bei der Nutzung des Betons. Zusätzlich kann eine Kosten-Analyse erstellt werden, um die Anpassung eines Mix-Designs auch aus Sicht der Ökoeffizienz bewerten zu können. Die Parametrisierung beruht auf dem Standard EN 15804, der Regeln zur Kategorisierung von Baustoffen vorsieht. Die Analyse erlaubt eine sofortige Berechnung und Beurteilung ökonomischer und ökologischer Auswirkungen von verschiedenen Betonmischungen und ermöglicht so den direkten Vergleich alternativer Optionen. Sie basiert auf allgemein zugänglichen Daten, bietet aber auch die Möglichkeit, Daten zu spezifischen, lokalen Rohstoffen einzubeziehen. Neben einer Analyse der Nachhaltigkeit über den gesamten Lebenszyklus von Beton, bilden die Berechnungen und der zugehörige umfangreiche Report die Basis für eine Produktdeklaration (EPD) und liefern die notwendigen Daten für gängige Gebäude-Zertifizierungen (DGNB, BREEAM, HQE und LEED).

Nachhaltige Lösungen für Beton durch innovative Betonzusatzmittel

Ein entscheidendes Kriterium für die Ökobilanz von Betonen ist ihr Klinkerfaktor (5). Die Reduzierung des Klinkerfaktors in Betonen durch die Verwendung von Komposit-Zementen und/oder Ersatzstoffen wie Flugasche, Hüttsandmehle oder Kieselserde ist durch mehrere technische wie regulatorische Faktoren eingeschränkt, eine wesentliche technische Einschränkung beruht auf der abnehmenden Frühfestigkeit bei erhöhtem Substitutionsgrad. Abhilfe bietet in solchen Fällen der Härtingsbeschleuniger X-SEED[®], einer stabilen Suspension von Kalzium-Silikat-Hydrat (CSH) Nanokristallen. X-SEED[®] beschleunigt die Hydratation des Zementleims im Frischbeton und damit die frühe Aushärtung (6-12h) des Betons bei niedrigen und normalen Temperaturen und sogar in wärmebehandelten Betonen. Die wirtschaftlichen, sozio-ökonomischen und ökologischen Effekte der Verwendung von X-SEED[®] in der Produktion von Beton-Fertigteilen ist nach der BASF SEEBALANCE[®] Methode untersucht worden. Im Ergebnis sind die Vorteile gegenüber einer Produktion ohne X-SEED[®] bemerkenswert. Dieses Ergebnis wurde zusätzlich durch einen Nano-Nachhaltigkeits Check des deutschen Ökoinstituts bestätigt. Die Aushärtungsbeschleunigung durch die Zugabe von X-SEED[®] in der Betonproduktion eröffnet bedeutende Optimierungspotentiale bei den verwendeten Materialien, bei Prozess-Führung und -Flexibilität und ermöglicht erhöhte Qualitätsstandards. Insgesamt reduziert X-SEED[®] nicht nur die Gesamtkosten, es verbessert auch die Klima- und Energiebilanz (6).

Moderne Betonverflüssiger verbessern die Ökobilanz von Betonen nachhaltig und kosteneffizient (7). Einen Schritt weiter gehen Technologien für hoch fließfähigen Beton. Smart Dynamic Concrete[™] ist ein Konzept für fließfähigen Beton für alltägliche Anwendungen. Es ermöglicht eine stark verbesserte

Verarbeitbarkeit des Betons bei gleichzeitiger Verwendung von robusten und einfach zu produzierenden Betonmischungen mit vergleichsweise niedrigen Feinanteilen. Dank seiner selbstverdichtenden Eigenschaften werden beim Einbau keine Rüttler verwendet, wodurch Lärm- und Gesundheitsbelastung auf der Baustelle reduziert werden. Die Einbaukosten werden deutlich reduziert, die Umwelt profitiert vom geringen Verbrauch energie- und CO₂-intensiver Feinanteile.

Zitate

1. *ESTIMATING THE AMOUNT OF CO₂ EMISSIONS THAT THE CONSTRUCTION INDUSTRY CAN INFLUENCE*. London : BIS, 2010. <http://www.bis.gov.uk/assets/biscore/business-sectors/docs/e/10-1316-estimating-co2-emissions-supporting-low-carbon-igt-report>.
2. Measuring Construction Industry Environmental Performance. [Online] U.S. EPA, Municipal and Industrial Solid Waste Division, 2007. <http://www.epa.gov/sectors/sectorinfo/sectorprofiles/construction/perfmeasures.pdf>.
3. *Construction Management and Economics* . **F. Pries, F. Janszen**. 1, s.l. : Taylor & Francis Group , 1999, Vol. 13.
4. **Jacobs, J-P (ed.)**. *Sustainable benefits of concrete structures*. Brussels : European Concrete Platform ASBL, 2009.
5. **B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)**. *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 2007.
6. *Cement and Concrete Research*. **Gartner, EM and Macphee, DE**. 7, Oxford : Elsevier, 2011, Vol. 41.
7. *Admixtures, Essential Components of sustainable Concrete*. **Magarotto, R**. Verona : Proceedings ERMCO Conference, 2012.
- 8.

Herabsetzung der Chlorid Migration in Beton durch Puzzolane

Dr. Dipl.-Ing. Denis Bézard

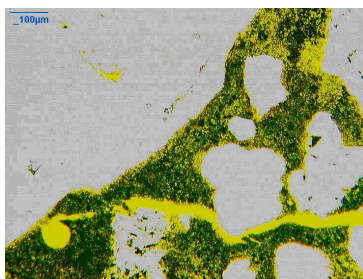
In vielen Anwendungen werden Armierungen aus Stahl als Verstärkung in Beton eingesetzt. Diese Armierungseisen können durch verschiedene Einflüsse zersetzt werden. Eine der üblichen chemischen Angriffe entsteht durch die Diffusion von Chloriden durch den Beton und kann zur Zerstörung des Stahls und dadurch seiner tragenden Funktion führen. Es muss nicht immer wie auf dem beiliegenden Bild ausgehen, ist aber sicher ein Problem das beachtet werden muss¹.



Sobald Stahlbeton einer Salzlösung ausgesetzt wird, zum Beispiel durch Enteisungsmittel oder Meerwasser, wandern die Chlorid-Ionen in den Beton ein. Dies erfolgt vorrangig durch Diffusion in dem freien Porenraum der Zementmatrix. Mit der Zeit dringen die Chloride bis zum Eisen durch und erreichen dort eine Konzentration, die die Passivierung des Stahls zerstört.

Die Geschwindigkeit der Ionenwanderung hängt natürlich von dem Wassergehalt und der Porosität des Betons ab. Umso poröser ein Beton ist und umso mehr Wasser er speichern kann, umso leichter werden die Chloride wandern können. Im Außenbereich entsteht diese Wanderung meist durch Diffusion oder kapillare Aufnahme. Ein sehr dichter Beton kann daher die Migration stark herabsetzen.

Puzzolanische Zusätze im Beton können den freigesetzten Kalk des Zements zu einem zementären Binder umwandeln und ein dichteres Gefüge bilden. In den folgenden Bildern kann man an einem Dünnschliff die Veränderung der Zementmatrix durch Zugabe eines feinsten kugeligen amorphen Silikates (gesichtete Flugasche, Microsit) erkennen². Der gelbe Raum zwischen den grauen Zuschlagsstoffen verdeutlicht dabei die Porosität des Zementsteines die durch die Umwandlung des Portlandzements dichter wird.



ohne Puzzolan



mit Puzzolan

Aus der Literatur ist bekannt, dass besonders Metakaolin das Porengefüge des Betons zu kleineren Durchmessern verschiebt und die Chloridmigration erniedrigt³. Es wurden daher Versuche mit Metaver I, einem preiswerten Metakaolin, unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt.

Als Testmethode wurde NT BUILD 492 Nordtest gewählt; dieser Test misst den Chlorid Migrationswiderstand. Betone werden nach dem folgenden Schema klassifiziert⁴:

Chloride Diffusions-Widerstand	Dcl [m ² / s]
Sehr gut	Dcl < 2 × 10 ⁻¹²
Gut	2 × 10 ⁻¹² > Dcl < 8 × 10 ⁻¹²
Mittelmäßig	8 × 10 ⁻¹² > Dcl < 16 × 10 ⁻¹²
Gering	Dcl > 16 × 10 ⁻¹²

Table 1: Chlorid Diffusion Definition

In diesen Tests wurden zwei w/b-Verhältnisse von 0,39 und 0,35 gewählt und 8% bzw. 12% des Zementes durch Metaver ersetzt. Als Messgrößen wurden die Druckfestigkeit und der Migrationswiderstand gemessen.

Beton Zusammensetzung						
Bezeichnung	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6
Zusammensetzung	Für 1 m ³ (kg/m ³ Beton)					
Zement CEM I 42.5 R,	380	350	335	390	360	345
Metaver I	-	30	45	-	30	45
Wasser	148	148	148	136	136	136
Zuschlag 0-4 mm	927	927	927	935	935	935
Zuschlag 4-8 mm	279	279	279	279	279	279
Zuschlag 8-16 mm	652	652	652	654	654	654
Verflüssiger, Glenium Sky 510 BASF	3.8	5.7	7.6	-	-	-
Verflüssiger, Glenium Sky 51 BASF	-	-	-	3.1	3.9	4.7
Wasser/Bindemittel Verhältnis	0.39	0.39	0.39	0.35	0.35	0.35
Kurzbeschreibung der Mischung	Beton ohne Metaver	Beton mit 8% Metaver	Beton mit 12% Metaver	Beton ohne Metaver	Beton mit 8% Metaver	Beton mit 12% Metaver
Durchschnittliche Druckfestigkeit nach 28 Tagen (N/mm ²)	74.4	88.0	91.4	83.7	95.9	100.3
Durchschnittlicher Chloride Diffusion Koeffizient nach 28 Tagen (× 10 ⁻¹² m ² / s)	9.61	2.53	1.37	7.04	1.43	0.90

Table 2: Mischungen und Test Resultate

Die Resultate zeigen dass bei einem w/b-Verhältnis von 0,39 nur 8% Metaver I benötigt werden um die Widerstandsklasse von „mittelmäßig“ auf „gut“ zu verändern und 12% um zu „sehr gut“ zu gelangen. Durch eine geringere Wassermenge w/b = 0,35 erreicht man schon ohne Zusatz einen dichteren Beton und eine Bewertung „gut“ aber durch 8% Zusatz von Metaver eine „sehr gute“ Bewertung.

Man sieht, dass die Wassermenge, die für das Anmachen des Betons verwendet wurde einen großen Einfluss hat, da eine größere Menge an Anmachwasser zu mehr und größeren Poren führt. Werden diese mit Wasser gefüllt, fördern diese eine höhere Chlorid-Diffusion. Eine dichtere Matrix bewirkt dagegen eine starke Herabsetzung der Chloridmigration nach 28 Tagen Aushärtung.

Die Verringerung der Porendurchmesser und der dichtere Zementstein bewirken auch eine Erhöhung der Druckfestigkeiten nach 28 Tagen⁵.

Die oben gezeigten Werte beweisen, dass durch den Einsatz von Puzzolanen, armierte Betone gegen den Angriff von Tausalzen widerstandsfähiger werden und die Dauerhaftigkeit von vorgespannten Betonkonstruktionen unter Salzbeanspruchung stark verlängert wird.

Literatur:

- (1) Neal Steven Berke, Victor Chaker, David Whiting, ASTM Committee G-1 on Corrosion of Metal
- (2) Bilder; temcon solutions, Alsfeld, Deutschland
- (3) Permeation Properties of Self-Consolidating Concretes with Mineral Admixtures; Erhan Güneyisi, Mehmet Gesoglu, and Erdogan Özbay, ACI Materials Journal/March-April 2011
- (4) <http://www.nordcinnovation.net/nordtestfiler/build492.pdf>
- (5) www.metakaolin.info

Neue Forschungsgebiete des Forschungsinstituts der VÖZ - Untersuchung der unterschiedlichen Fließmitteln mit Hilfe von Rheologischen Messungen.

Dipl. Ing. Dr. Ameneh Schneider

Rheologische Methoden (Rotationsrheometer) werden in der Baustoffbranche schon seit Langem eingesetzt [1]. Sowohl die einfache optische Begutachtung der Konsistenz, als auch das Ausbreitmaß sind nützliche Methoden und werden aufgrund ihrer Einfachheit noch immer angewendet. Bei vielen Fragestellungen ist es jedoch notwendig das Fließverhalten und die Viskosität quantitativ und reproduzierbar zu erfassen. Das Ausbreitmaß liefert als Ergebnis lediglich eine Größe für ein vorgegebenes Belastungsprofil aus 15 Hubschlägen. Eine Fließkurve beschreibt dagegen die Abhängigkeit des Fließverhaltens von der Scherbelastung, so dass man aus ihr das Fließverhalten unter verschiedenen Bedingungen herleiten kann. Wissenschaftler bezeichnen die Rheologie als eine unverzichtbare Methode in Bereich der Betonforschung [2].

Ziel der Untersuchungen in VÖZfi ist einerseits, den Einfluss von Zementhauptbestandteilen wie Hüttensand und Kalkstein auf die Wirkung der Fließmittel (abhängig von der jeweiligen PCE-Molekülstruktur) zu ermitteln, andererseits den Einfluss der Variationen der Klinkerparameter sowie Sulfatträger auf die Wirkungsweise der unterschiedlichen PCE-Moleküle darzustellen. Die Untersuchungen wurden mit einem Rotationsrheometer, Viskomat NT von Fa. Schleibinger durchgeführt (s. Abb. 1).



Abb. 1: der Viskomat NT der Fa. Schleibinger

Die Molekularstruktur von PCE unterscheidet sich von den bisher im Einsatz befindlichen Fließmitteln auf Naphtalin- und Melaminbasis deutlich. Die dispergierende (verflüssigende) Wirkung resultiert nicht nur aus einer elektrostatischen Abstoßungswirkung zwischen den Molekülen. In PCE-Molekülen sind lange Seitenketten eingebaut, welche zusätzlich zur elektrostatischen Wirkung eine sogenannte „sterische Abstoßung“ bewirken [3]. Generell gibt es bei PCE-Molekülen ein größeres Potential an Formulierungsmöglichkeiten als bei Produkten auf Naphtalin- und Melaminbasis. Dadurch können PCE-Fließmittel mit deutlich unterschiedlicher Wirkcharakteristik entwickelt werden, was eine optimale Anpassung an unterschiedliche betontechnologische Aufgabenstellung ermöglicht [4]. Für das geplante Versuchsprogramm werden verschieden konfigurierte PCE-Fließmittel verwendet, um ein möglichst breites Spektrum abdecken zu können.

Die erste Stufe des Forschungsvorhabens umfasst die Erarbeitung und Festlegung einer für das geplante Vorhaben optimierten Untersuchungsmethode unter Verwendung eines Rotationsrheometers für Zementleim. Mit dieser Methode sollen rheologische Parameter wie

Viskosität, Schwerwiderstand, Fließgrenze ermittelt werden. Zusätzlich werden durch Sättigungskurven die maximal zulässigen Fließmittelzugaben ermittelt.

Abhängig von den ausgewählten Zementen sollen nachstehende Einflussparameter beurteilt werden:

1. Feinheit der Zemente (spezifische Oberfläche, Kornzusammensetzung)
2. Sulfatträger
3. Alkalien im Zement bzw. lösliche Alkalien im Porenwasser
4. Einige Parameter in Klinkerproduktion wie C_3A -Gehalt
5. Zumahlstoffe (z.B. Kalkstein-, Hüttensandgehalt)

Parallel zu diesen Untersuchungen sind zur Beurteilung der Zusammensetzung der Zemente chemische Analysen der Porenlösungen geplant. Zur Bestimmung der Feinheit und der Kornzusammensetzung werden Beurteilungen der spezifischen Oberfläche nach Blaine und Gesamtzusammensetzungsermittlungen mittels Flow Particle Image Analyzer und Lasergranulometrie durchgeführt. Diese Untersuchungen dienen zur Interpretation der Fließkurven und der Wechselwirkungen zwischen den Stoffparametern und den PCE-Molekülen. Als ergänzendes Ziel werden durch Betonversuche festgestellt, ob die geplanten Beurteilungen bzw. Untersuchungen nur an Zementleim durchführbar und die Ergebnisse auf Betonrezepturen übertragbar sind oder ob der Einfluss des Betons die Definition eigener Randbedingungen erfordert. Geplant sind Untersuchungen an einem Beton mit Größtkorn 16 mm, u. a. Bestimmungen des Ausbreitmaßes bzw. des Ausbreitfließmaßes aber auch Korrelationsuntersuchungen mit einem Betonrheometer. Die Untersuchungen werden mit PCE-Fließmittel und Zementen durchgeführt, welche im Zuge der Versuche am Zementleim bzw. aufgrund der Auswertung signifikante Ergebnisse zeigen.

Referenzen:

- [1] M. Greim, Rheological Measurement on Building Materials, a Comprehensive Research Program, Annual Transactions of the Nordic Rheology Society, Volume 5, 1997, Conference 1997, Reykjavik, August 6-9 (1997)
- [2] O. Wallevik et al, Rheology as a tool in concrete science: the use of Rheographs and workability boxes; Cement and Concrete Research 41, p.1279-1288 (2011)
- [3] J. Plank, B. Sachsenhauser, Experimental determination of the effective anionic charge density of polycarboxylate superplasticizers in cement pore solution; Cement and Concrete Research, 39 (1), p.1-5 (2009)
- [4] R. Qianping et al, Effect of the length of the side chain of comb-like copolymer dispersants on dispersion and rheological properties of concentrated cement suspension; Journal of Colloid and Interface Science, 336, 624-633 (2009)

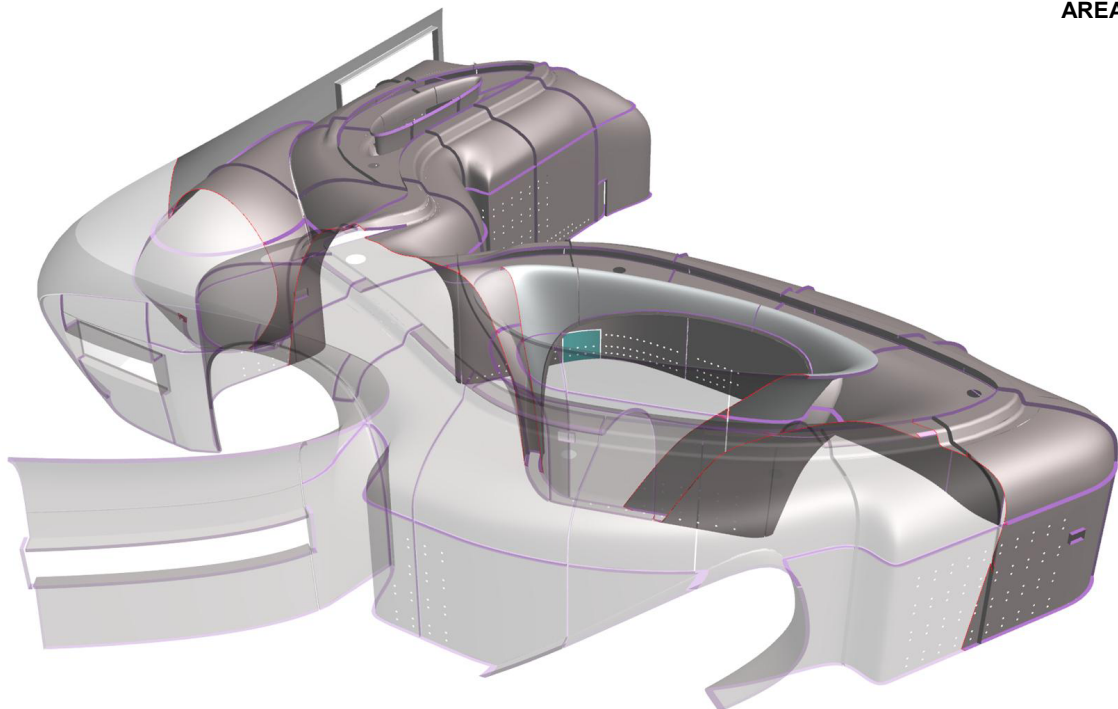
Kolloquium 2012

Spritzbeton aus Weißzement – eine technische Herausforderung

Das Objekt

„Nicht baubar!“ – so lauteten die Antworten von über 50 am Bieterwettbewerb teilnehmenden Faserbetonherstellern hinsichtlich der Pläne des Büros Zaha Hadid Architects, London. Diese Entwürfe, basierend auf dem Thema Wasser, zeigten die Londoner Ausstellungsräume des Sanitärherstellers Roca, Barcelona, dessen Raumgestaltung sich durch extreme, organisch geschwungene Formen auf kleinstem Raum auszeichnet. Genau dieses „Nicht baubar“ reizte die im Januar 1990 gegründete B & T Bau & Technologie GmbH, eine Manufaktur für extravagante Betonprojekte aus der oberbayerischen Gemeinde Raubling. B&T hat ein zementbasiertes composite System zur Herstellung großflächiger, doppeltgekrümmter und ultraleichter Betonwände entwickelt und qualifizierte sich als Einziger für diese Herausforderung alle Bauteile aus Beton, Gips, und GFK für das Projekt zu fertigen.

AREA 02



Die enge Zusammenarbeit mit hochrangigen international bekannten Architekten gehört zur Firmenphilosophie des Bad-ausstatters Roca. Demzufolge sollen die Ausstellungsbesucher die Produkte des Unternehmens in einer angemessenen Umgebung erleben. Bei ihrem Entwurf für die Londoner Ausstellung ließen sich die Mitarbeiter des Büros der Star-Architektin Zaha Hadid von den gleitenden Bewegungen des Wassers inspirieren. In ihren Entwürfen fließen sämtliche Gebäudeelemente ineinander über. Die Raumgestaltung wirkt weich und organisch. Insgesamt 1.100 m² Ausstellungsfläche werden im Erdgeschoss eines bestehenden Gebäudes integriert.

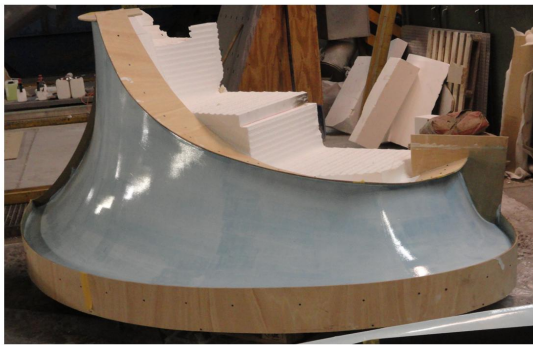
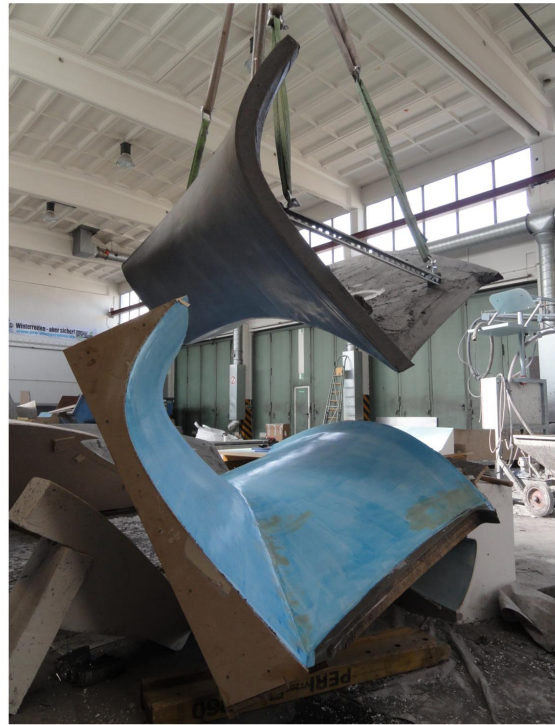


Kolloquium 2012

Spritzbeton aus Weißzement – eine technische Herausforderung

Die Formgebung - Sonderschalungsbau

Um die ungewöhnlichen Formen realisieren zu können, bedarf es neuester technischer Ausstattung und sehr belastbarer Mitarbeiter. Der erste Schritt dazu ist jedoch die dafür benötigte Sonderschalung. Jahrzehnte lange Erfahrung im Sonderschalungsbau und Realisierung höchster Anforderungen ist dabei sehr hilfreich.

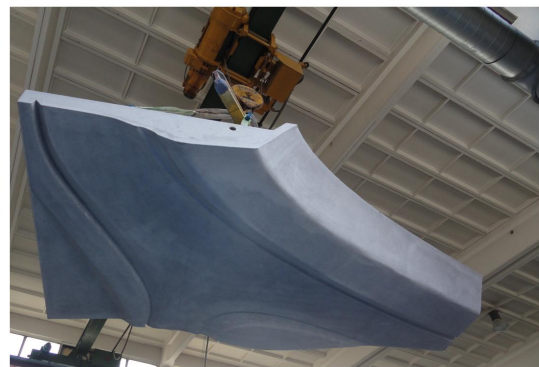
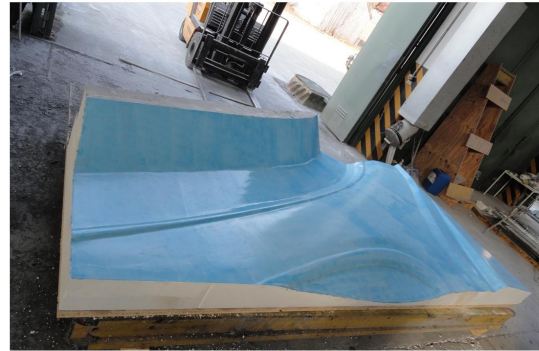


© K.S. Thaleck ROCA LONDON GALLERY - manufactured by B&T Bau & Technologie GmbH - D-83064 Raubling / Bavaria

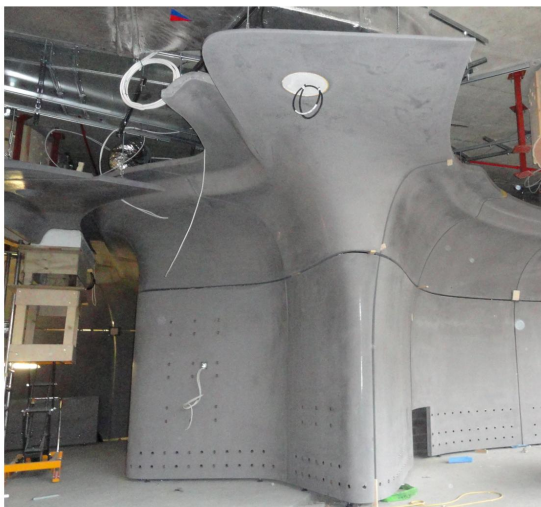


Kolloquium 2012

Spritzbeton aus Weißzement – eine technische Herausforderung



© K.S. Thaleck ROCA LONDON GALLERY - manufactured by B&T Bau & Technologie GmbH - D-83064 Raubling / Bavaria



© K.S. Thaleck ROCA LONDON GALLERY - manufactured by B&T Bau & Technologie GmbH - D-83064 Raubling / Bavaria

Kolloquium 2012

Spritzbeton aus Weißzement – eine technische Herausforderung

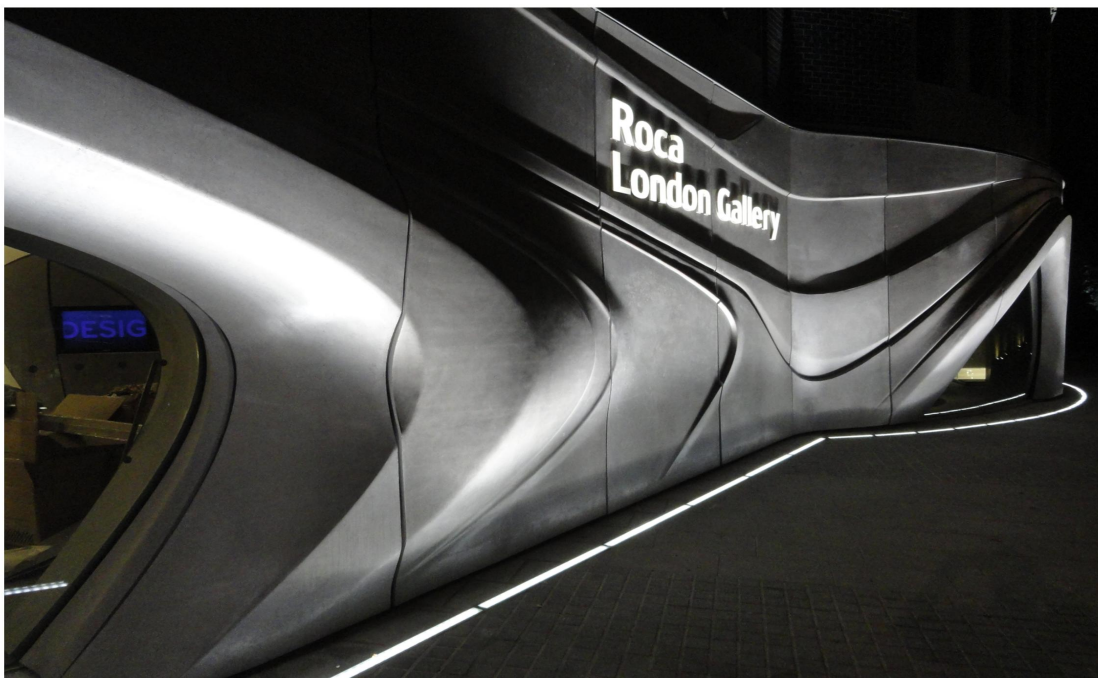
Die Material-Entwicklung

Ein wichtiger Faktor für den Erfolg solch anspruchsvoller Bauaufgaben sind hervorragende Ausgangsmaterialien. In mehr als zweieinhalb Jahre andauernder Forschungs- und Entwicklungsarbeit hat B&T eine Composite - Sandwichbauweise aus Beton und Aluminium entwickelt, das wir unter dem Namen CEton (Concrete Embedded Composite) anbieten. Die Sichtbetonelemente haben eine Stärke von 60 mm und zeichnen sich durch ihr geringes Gewicht von ca. 50 kg/m² aus. Die Gewichtersparnis ermöglicht den nachträglichen Einbau in bestehende Gebäude, unter Berücksichtigung und Einhaltung der bestehenden Statik. Durch das composite Verfahren werden selbsttragende Bauteile hergestellt, die nur wenige Verankerungspunkte benötigen.

Obwohl die Wand- und Deckenelemente sowie die Fassade der Ausstellung meist grau sind, setzt B&T als Basis weißen Zement der Firma Holcim ein, den wir mit schwarzen Pigmenten einfärben. Mit Holcim Weißzement als Basis können wir fast jeden Farbwunsch des Architekten verwirklichen, und somit eine gewisse Farbkonstanz sicherstellen. Die Anforderung beim Spritzbeton war aber die ersten Lagen ohne jegliche Fasern, Zellulose oder sonstige Hilfsstoffe zu realisieren, die der Matrix normalerweise Standfestigkeit bieten. Die Rezeptur wurde so gewählt, daß wir letztlich in der Lage waren über „ Kopf „ zu spritzen, ohne das dabei unser CEton von der nichtsaugenden, glatten und mit Trennmittel eingelassenen Schalhaut rutscht.

Hierbei erwies sich die enge Zusammenarbeit mit der Wacker Chemie AG als besonders erfolgreich. Mit den Wacker Produkten konnte eine geeignete Betonrezeptur formuliert werden, die gewährleistet, dass der Beton sich einerseits gut mit dem Aluminium verbindet und andererseits bei hoher Druckfestigkeit (> 45 N/mm²) zugleich eine sehr gute Biegezugfestigkeit (> 10 N/mm²) erreicht. Beim Bau der CEton-Elemente war es darüber hinaus besonders vorteilhaft, dass ETONIS® die plastische Verformbarkeit (Duktilität) des Betons erhöht und somit einer Reißbildung der dünnwandigen Betonelemente bei Transport und Einbau vorbeugt. Zudem gewährleistet es eine gute Abriebbeständigkeit der Betonoberflächen.

Dadurch war es letztendlich möglich, die gewünschten Eigenschaften von CEton zu realisieren und die gesteckten Ziele zum Teil noch zu übertreffen. Die ROCA-LONDON-GALLERY war dabei der erfolgreiche Beginn.



© K.S. Thaleck ROCA LONDON GALLERY - manufactured by B&T Bau & Technologie GmbH - D-83064 Raubling / Bavaria

Autor: Kruno Stephan Thaleck, Geschäftsführender Inhaber, B & T Bau & Technologie GmbH

Querkraftversuche an ausgebauten und über 50 Jahren alten Brückenträgern aus Spannbeton

Patrick Huber, Anton Schweighofer und Johann Kollegger

Technische Universität Wien
Institut für Tragkonstruktionen – Betonbau

Einleitung

Der Anstieg in den Verkehrslasten sowie die im Laufe der Jahre überarbeiteten Bemessungsnormen führen dazu, dass im Zuge einer statisch-konstruktiven Nachrechnung entsprechend der Regelungen des Eurocode 2 Defizite in Bezug auf die rechnerische Querkrafttragfähigkeit auftreten können [1]. Dies trifft insbesondere auf Brückentragwerke aus Spannbeton zu, welche vor 1966 erbaut wurden. da zuvor kein verbindlicher Wert für eine Mindestquerkraftbewehrung verpflichtend war.

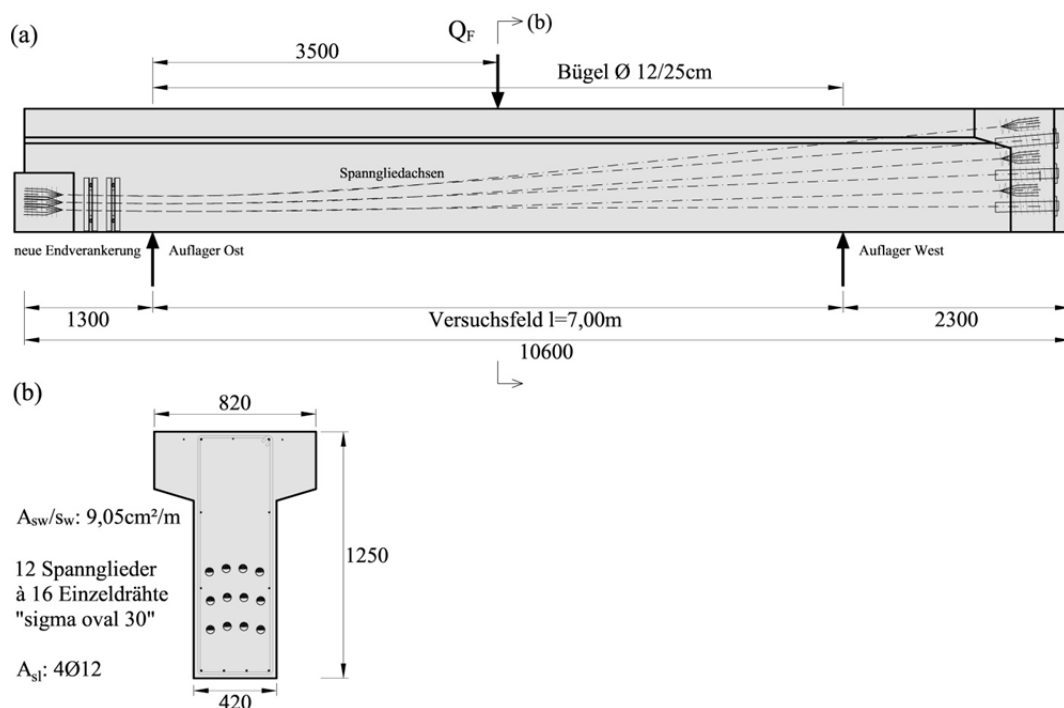


Abbildung 1. Versuchsaufbau der Querkraftversuche – (a) Längsansicht mit Darstellung der Spanngliedachsen (b) Querschnitt

Querkraftversuche

Im Zuge des Abrisses einer Überfahrtsbrücke über die ÖBB wurde dem Institut für Tragkonstruktionen - Betonbau die Möglichkeit eröffnet, Großversuche im Maßstab 1:1 an ausgebauten Brückenträgern aus Spannbeton durchzuführen. Die im Jahre 1959 errichtete mehrstegige Plattenbalkenbrücke wurde in Längsrichtung mit Spannstählen der Güte St 145/160 „sigma oval“ vorgespannt, welche bekanntlich eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Spannungsrisskorrosion (SprRK) aufweisen. Abbildung 1 zeigt den Versuchsaufbau der Querkraftversuche.

che inklusive der wesentlichsten Versuchsparameter. Der Querkraftbewehrungsgrad ρ_w beträgt dabei im Versuchsfeld 0,22 %. Eine Bemessung nach Eurocode würde einen deutlich höheren Gehalt an vertikaler Bewehrung erfordern.

Ziel der Versuche

Wie bereits durchgeführte Belastungsversuche zeigten [2,3], weisen insbesondere stark vorgespannte Brückenträger gegenüber der rechnerischen Querkrafttragfähigkeit nach Eurocode 2 immense Tragreserven auf. Ziel dieser Versuchsserie war daher weitere Erkenntnisse über die komplexen Tragmechanismen bei querkraftbeanspruchten Spannbetonträgern zu sammeln.

Versuchsergebnisse

Abbildung 2 zeigt das Versagensbild der Querkraftversuche. Vor dem Erreichen der Maximallast war ein deutliches Abreißen der Bügelbewehrung zu vernehmen, was in weiterer Folge zum Versagen führte. Die maximale Querkraft während des Versuchs von $Q_{\max} = 1827$ kN liegt deutlich über den nach Eurocode 2 prognostizierten Werten.



Abbildung 2. Versagensbild

Danksagung

Für die Ermöglichung dieser Versuche gebührt folgenden Projektpartnern ein herzlicher Dank: ÖBB-Infrastruktur AG, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung – Abteilung Brückenbau und Alpine Bau GmbH

Literaturverzeichnis

- [1] Huber, P.; Schweighofer, A.; Kollegger, J.; Brunner, H.; Karigl, W.: Vergleich der rechnerischen Querkrafttragfähigkeit von Bestandsbrücken nach Eurocode 2 und fib Model Code 2010, Beton- und Stahlbetonbau 107, Heft 7, S. 451-462, 2012
- [2] Vill, M., Schweighofer, A., Kollegger, J.: Großversuche an Spannbetonbrückenträgern zur Beurteilung des Schubtragverhaltens, Beton- und Stahlbetonbau 107, Heft 2, S. 86-95, 2012
- [3] Vill, M., Torghele, H., Brunner, H.; Kollegger, J.: Zerstörende Belastungsversuche zur Untersuchung des Schubtragverhaltens von vorgespannten Trägern einer Straßenbrücke, Beton- und Stahlbetonbau 106, Heft 4, S. 241-249, 2011

VÖZ Kolloquium 2012

Dipl.Ing.Dr.Helmut Huber

Neue Entwicklungen bei der Ausführung von Weißen Wannern

In Österreich wurden in den letzten 20 Jahren gute Erfahrungen bei der Herstellung von „Wasserundurchlässigen Betonbauwerken - Weißen Wannern“ nach dem Konzept der ÖVBB-Richtlinie gemacht. Diese Erfahrungen haben aber auch gezeigt, dass noch gewisse Optimierungen möglich sind.

In den Jahren 2011/2012 wurde das FFG Forschungsprojekt „Optimierung Weiße Wannern“ unter Mitwirkung zahlreicher Vertreter von Bauherren, Planern, Universitäten, Versuchsanstalten und Bauausführenden unter organisatorischer Betreuung durch den ÖBV abgewickelt (siehe ÖBV-Bautechnik 2012)

Betonversuche mit verschiedenen Bindemitteln, Großversuche im Maßstab 1:1, FE Modellierung und Baustellenversuche brachten folgende Ergebnisse:

- Bindemittelgemische aus Zement C₃A frei mit 30 - 45 % AHWZ Anteil bringen für den Regelbeton BS1 nach Richtlinie „Weiße Wannern“ bei Einhaltung der geforderten Betoneigenschaften nicht nur wirtschaftliche und ökologische Vorteile, sondern auch eine deutliche Erhöhung der Rissicherheit bei Zwangsspannungen infolge abfließender Hydratationswärme („Frührissbildung“)

- Diese Zwangsspannungen können mit FE Rechenmodellen (z.B. TEMPRISS) sehr gut abgeschätzt und die Rissicherheit durch Gegenüberstellung mit den Betonkennwerten angegeben werden („Rissindex“).

Als Rissindex wird das ungünstigste Verhältnis von Zwangsspannung aus abfließender Hy-Wärme zur vorhandenen Betonzugfestigkeit im Zeitraum bis zum Temperatenausgleich bezeichnet

- Bei Erreichen eines entsprechenden Rissindex von maximal 0,70 für ein Bauwerk aufgrund der Projektdaten, klimatischen Verhältnisse und ermittelten Betonkennwerte kann auf die risseverteilende Bewehrung zur Abdeckung der Zwangsspannungen aus abfließender Hydratationswärme verzichtet werden, was abhängig vom Bauwerk etwa 20% Bewehrungseinsparung bedeuten kann. Dieses Modell ist in Nordeuropa Stand der Technik.

Helmut Huber

geb. 30.01.1939 in Wien

Bauingenieurstudium Techn.Hochschule Wien

Dr.Techn. Universität Innsbruck

Vorstand Österreichische Bautechnikvereinigung (ÖBV)

Seit 1964 als Materialtechnologe

für große Talsperren, Großkraftwerke, Verkehrstunnelprojekte (über 400km)

Brücken und Weiße Wannern

im In- und Ausland tätig.

Einladung
zur Abgabe eines Kurzbeitrages zum

Kolloquium

„100 Jahre Forschung & Entwicklung für Zement und Beton“

anlässlich 100 Jahre Forschungsinstitut der VÖZ

7. November 2012

Sehr geehrte Damen und Herren,

unser diesjähriges Kolloquium über Forschung & Entwicklung auf dem Gebiet von Zement und Beton findet am 7. November 2012 in der Wirtschaftskammer Österreich, Julius Raab Saal, Wiedner Hauptstraße 63, 1040 Wien statt.

Wir bitten Sie, uns mittels nebenstehendem Formular - zu finden auf www.zement.at unter Termine - oder per E-Mail (schlesak@voezfi.at)

bis 3. September 2012

mitzuteilen, ob Sie einen Kurzbeitrag (Dauer höchstens 8 Minuten) anbieten möchten.

Falls Ihr Beitrag für die Präsentation gewählt wird, werden wir uns wegen der Programmgestaltung bis Mitte September 2012 mit Ihnen ins Einvernehmen setzen und danach das endgültige Programm zur Aussendung bringen.

Mit freundlichen Grüßen

**Forschungsinstitut der Vereinigung
der Österreichischen Zementindustrie**



DI Dr. J. Steigenberger
Institutsleiter

Dir. DI F. Friembichler
Geschäftsführer



A-1030 Wien, Reiserstraße 53
Tel.: 01/714 66 81, Fax: DW 66
E-Mail: office@voezfi.at, www.zement.at

**Forschungsinstitut der Vereinigung
der Österreichischen Zementindustrie**

A-1030 Wien, Reiserstraße 53
Tel.: 01/714 66 81-0, Fax: 01/714 66 81-66, E-Mail: schlesak@voezfi.at

Name/Titel: David WIMMER
Dipl.-Ing.

Dienststelle/Adresse: TU Wien
Institut für Tragkonstruktionen - Betonbau

Telefon: +43-1-58801-21280
Fax: +43-1-58801-21299
E-Mail: david.wimmer@tuwien.ac.at

Kolloquium

**„Forschung & Entwicklung für Zement und Beton“
am 7. November 2012**

Ich habe die Absicht, einen Kurzbeitrag zu bringen.

Titel des Beitrages:
Brückenträger aus dünnwandigen Fertigteilen mit Füllbeton

Eine Zusammenfassung von 1 1/2 Seiten

lege ich bei folgt bis spätestens 03. 9. 2012

Datum: 30.08.2012

Unterschrift: 

Kurzbeitrag von DI David Wimmer, TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen-
Betonbau zum Kolloquium am 07. November 2012
„100 Jahre Forschung & Entwicklung für Zement und Beton“
mit dem Titel:

Brückenträger aus dünnwandigen Fertigteilen mit Füllbeton

Beim modernen Bauen mit industrialisierten Fertigungsmethoden werden der Entwurf einzelner Betonfertigteile, und auch das gesamte Bauwerk, maßgeblich durch die Fertigung beeinflusst. Ein verstärkter Trend zu mechanisierten und automatisierten Herstellungsverfahren ist festzustellen.

Gitterträgerdecken sind das am häufigsten verwendete Deckensystem in Österreich und den benachbarten Ländern. Bei Gitterträgerdecken handelt es sich im fertigen Zustand um Vollbetondecken, bei denen die 5 cm bis 7 cm dicke Fertigteilplatte die statisch erforderliche untere Bewehrung enthält und die Schalung für den Aufbeton bildet. Gitterträgerdecken mit Aufbeton sind ein sehr wirtschaftliches Deckensystem, weil die Herstellung der Fertigteilplatten einen hohen Automatisierungsgrad aufweist und auf der Baustelle der Aufwand für Schalung und Traggerüste im Vergleich zu einer Ortbetondecke erheblich reduziert wird.

In einem Forschungsvorhaben an der TU Wien wurde die Möglichkeit untersucht, Fertigteilplatten (Gitterträgerdecken) als Seitenwände für trogförmige Betonfertigteile zu verwenden. Die trogförmigen Betonfertigteile sind 0,6 m bis 2,5 m breit, 1,0 m bis 2,8 m hoch und aus Fertigungs- und Transportgründen maximal 20 m lang. Auf der Baustelle werden die Fertigteile bei Bedarf mit Spanngliedern zu längeren Elementen zusammengefügt und lagenweise mit Beton verfüllt.

Doppelwandelemente werden im Hochbau erfolgreich zur Herstellung von Keller- und Geschoßwänden eingesetzt. Mit der Verwendung von Doppelwandelementen zur Herstellung von Fertigteilträgern für den Brückenbau wird der Vorfertigungsgrad weiter erhöht, weil der Arbeitsschritt des Montierens von zwei Gitterträgerdecken zu

einem Trogquerschnitt entfällt. Die beschränkte Dicke der Doppelwandelemente führt zu Fragestellungen im Hinblick auf Stabilitätsverhalten, Fugenausbildung und konstruktiver Durchbildung, die im Forschungsprojekt mit numerischen Simulationen und zwei Versuchen mit 30 m langen Trägern untersucht wurden.

Mit den Ergebnissen des FFG – Forschungsprojekts (Antragsteller: Vereinigung der Österreichischen Beton- und Fertigteilwerke) konnte gezeigt werden, dass die Herstellung von trogförmigen Fertigteilträgern unter Verwendung von Fertigteilplatten technisch möglich ist und gegenüber Stahl- und Spannbetonträgern erhebliche Kostenvorteile aufweist. Im Vergleich zu Stahlträgern können bei ähnlichen Hubgewichten während der Montage beträchtliche Kosteneinsparungen auf Grund der günstigen Baustoffpreise von Beton realisiert werden. Im Vergleich zu Spannbetonträgern weisen die trogförmigen Betonfertigteile den entscheidenden Vorteil auf, dass sie bei ähnlicher Tragfähigkeit bedeutend leichter sind und dadurch Einsatzmöglichkeiten für die Betonbauweise erschließen, die bisher dem Stahlbau vorbehalten war.

Untersuchung der Bettungsverhältnisse unter Betondecken am Flughafen Wien mit Hilfe des Fallgewichtsdeflektometers (FWD)

Lukas Eberhardsteiner, Ronald Blab

Institut für Verkehrswissenschaften – Forschungsbereich Straßenwesen, Technische Universität Wien, lukas.eberhardsteiner@tuwien.ac.at

Basierend auf guten Erfahrungen mit bituminösen Tragschichten unter Betondecken auf Autobahnen, soll die Eignung dieser Bauweise für Flugbetriebsflächen untersucht werden. Hierfür wurden Fallgewichtsdeflektometer (FWD)–Messungen an einer Flugzeugabstellfläche am Flughafen Wien durchgeführt, um die Bettungsverhältnisse unter der Betondecke beurteilen zu können. Das FWD ist ein Messsystem zur Bestimmung der Tragfähigkeit des Oberbaus durch Aufbringung eines dynamischen Impulses durch ein Fallgewicht. Die Messung der resultierenden Einsenkungen, speziell der Asphalt- oder Betonschicht, erfolgt mit Geophonen. Im Gegensatz zu Messungen an Straßenaufbauten wurde die aufgebrachte Last von 50 kN auf 200kN erhöht, um messbare Einsenkungen in der relativ steifen Konstruktion der Abstellfläche hervorzurufen.

Litzka [1] entwickelte eine Methode zur Bewertung der Bettungsverhältnisse von Betondecken in Straßenkonstruktionen auf Grundlage der Einsenkungen aus FWD-Messungen in der Mitte einer Platte und an deren Rand. Er stellte den Wirkungsgrad der Fuge W dem Verhältnis D_r/D_m der Einsenkungen am Plattenrand D_r und in Plattenmitte D_m gegenüber und definierte mit Hilfe der Westergaardtheorie [2] eine Grenzlinie, welche gleiche Bettungsverhältnisse an Plattenrand und –mitte darstellt. Ein Beispiel für solch ein Bewertungsdiagramm ist in Abbildung 1 dargestellt.

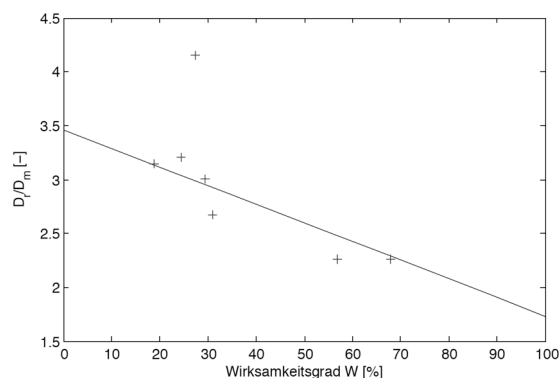


Abbildung 1: Diagramm zur Abschätzung der Bettungsverhältnisse mit Hilfe von FWD-Messungen

Ist ein Punkt $W-D_r/D_m$

- in der Nähe der Grenzgerade, sind die Bettungsverhältnisse in der Mitte der Platte und an der Fuge ähnlich,
- über der Linie, kann von schlechten Bettungsverhältnissen an der Fuge ausgegangen werden (z.B. durch Erosion der Tragschicht), und
- unter der Grenzlinie, sind die Bettungsverhältnisse am Rand der Platte besser als in deren Mitte.

Im Zuge dieser Arbeit wurde die Definition dieser Grenzlinie anhand der zuvor erwähnten FWD-Messungen am Flughafen Wien überprüft und mit einer modifizierten Version der Westergaard-Formeln [3] auf der einen Seite und Finite Elemente Methoden (FEM) auf der anderen Seite überarbeitet. Dabei wurden sowohl Systeme in Anlehnung an Westergaards Theorie, als auch tatsächliche Aufbauten am Flughafen Wien modelliert und untersucht.

Mit Hilfe der Ergebnisse dieser Arbeit soll die beschriebene Methode weiterentwickelt und überarbeitet werden, um eine zuverlässige Beurteilung der Bettungsverhältnisse unter Betondecken mittels Fallgewichtsdeflektometer-Messungen zu ermöglichen.

Literatur:

- [1] J. Litzka: Measurements to assess load transfer across transverse joints and support conditions. Proceedings to the 3rd Int. Workshop on Design and Evaluation of Concrete Roads, Krumbach, 1994
- [2] J. Eisenmann, G. Leykauf: Betonfahrbahnen. Ernst & Sohn, Berlin, 2003
- [3] Ir. L. J. M. Houben: Structural Design of Pavements – Part IV: Design of Concrete Pavements. Lecture Notes CR 4860, TU Delft, Delft, 2009

Energietübbing Infrastruktur wird zur Energiequelle

2008, Tunnelgeothermie Jenbach

Text | Ralf Winterling und Michael Seemann

Bilder | © REHAU AG+Co und Züblin AG

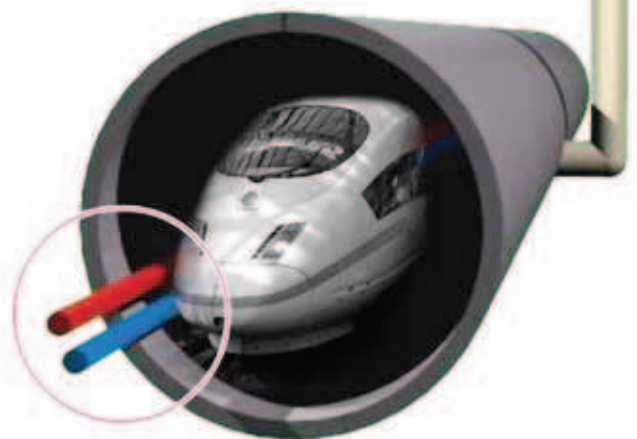
Tunnelkonstruktionen bestehen aus großen Betonmassen mit gutem Kontakt zum umgebenden Erdboden. Durch das Einbringen von Absorberrohren kann die Betonschale thermisch aktiviert werden, um Wärmeenergie aus dem Tunnel und dem umgebenden Erdboden zu gewinnen. Auf diese Weise lässt sich der Boden als wertvolle, regenerative Energiequelle nutzen und der Tunnel kostengünstig kühlen.

1 Einleitung

Tunnelkonstruktionen bieten ein großes Potenzial für die Energiegewinnung aus dem umgebenden Erdboden sowie aus dem Tunnel selbst durch den Tunnelbetrieb. Eine Reihe von Tunnelprojekten wird bereits mit dem Ziel der Energiegewinnung für oberirdische Anwendungen genutzt. Für diesen Zweck wurden in den letzten Jahren unterschiedliche Technologien entwickelt. Dieser Fachbeitrag legt insbesondere die neuesten Entwicklungen bei der Tübbing-Bauweise dar. Segmentauslegung, Herstellung, Montage und Betrieb von Energietübbings werden erläutert.



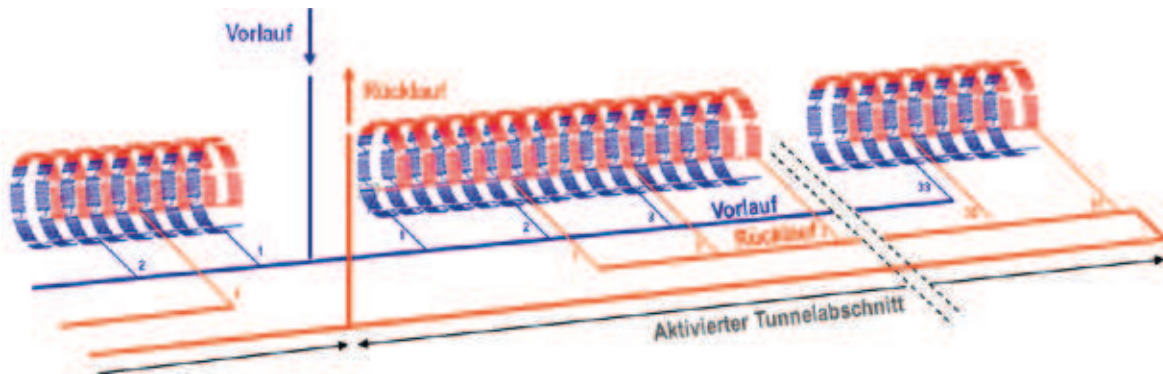
Energiegewinnung aus dem Tunnel für oberirdische Anwendungen



Absorberrohre werden in das Segment eingebracht und zu durchgängigen Rohrschleifen verbunden.



Hydraulikkonzept mit Rohrleitungen nach dem Tichelmann-Prinzip



2 Energietübbing

2.1 Aufbau der Segmente und Absorberrohre

Absorberrohre werden in die Betonsegmente eingebracht, um die thermisch wirksame Masse der Tunnelkonstruktion zu aktivieren. Installiert werden die Rohre üblicherweise in einem mäandrierenden Muster mit einem Rohrabstand von etwa 300 Millimetern und einem Rohrdurchmesser von 20 bis 25 Millimetern. Da neue Tunnel für eine Lebensdauer von mehr als 100 Jahren ausgelegt werden, wird empfohlen, ein Rohrmaterial mit einer entsprechenden Lebenserwartung zu verwenden. Vernetztes Polyethylen (PE-Xa) ist ein robustes Material mit engen Biegeradien und geeigneten Leistungswerten (zum Beispiel Full-Notch-Creep-Test), das herkömmliche Rohre aus PE-HD übertrifft.

Die Absorberrohre jedes Segmentes werden zu einem durchgängigen Kreislauf, bestehend aus bis zu fünf Segmentringen, verbunden. Um Platzbedarf und Wartung im Tunnel zu minimieren, wird jede Schleife nach dem Tichelmann-System mit einer Vorlauf- und Rücklaufsammelleitung verbunden.

Tübbings mit Aussparungen



An den Bewehrungskorb angebrachte Absorberrohre





Hinteres Ende der TBM als Arbeitsplattform



Aussparung mit REHAU Fitting zum Verbinden der Absorberrohre

Für Wartungs- oder Reparaturarbeiten kann jede Schleife über Absperrventile einzeln abgesperrt werden. Die Sammelleitungen können auf der Sohlenhöhe, auf der Fahrbahnplatte oder an der Tunnelwand angebracht werden. Das System ist über die Bahnstationen oder Lüftungsschächte mit den oberirdischen Verbrauchern verbunden.

2.2 Herstellung der Segmente

Die Produktion der Betonsegmente erfolgt nach dem Standard-Tübbingherstellungsverfahren. Die Absorberrohre werden an den Bewehrungskörben angebracht oder, bei faserverstärktem Beton, zu Modulen vormontiert.

Die Absorberrohre beginnen und enden in jedem Segment an einer Aussparung an der inneren Gewölbefläche, damit die Rohrabschnitte nach Installation der Segmente zu durchgängigen Rohrschleifen verbunden werden können. Zum Realisieren der Aussparungen und zum Befestigen der Rohrenden während des Betonierens werden spezielle Einsatzformen in die Schalung eingebaut.

2.3 Installation

Im Tunnel werden die vorgefertigten Betonsegmente auf konventionelle Art und Weise mittels Tunnelbohrmaschine installiert. Besonders am Bogenschluss sind die Positionen der Aussparungen hinsichtlich der Größe der Vakuum-Saugteller zur Handhabung der Segmente zu beachten. Sobald ein vollständiger Segmentring installiert ist, wird das hintere Ende der Tunnelbohrmaschine als Arbeitsplattform genutzt, um die Absorberrohre in den Aussparungen zu verbinden.

Zusätzliche Rohrbelastungen an den Stoßfugen durch potenzielle Tunnelsetzungen sind bei der Dimensionierung zu berücksichtigen. REHAU hat eine spezielle, dauerhafte Verbindung entwickelt, die einfach und schnell installierbar sowie für Baustellenbedingungen bestens geeignet ist. Aufgrund der hohen Anzahl an Verbindungen ist dies ein wichtiges Detail bei Energietübbings.

2.4 Vorteile im Betrieb

Je nach Bodenbedingungen und Lufttemperatur im Tunnel ist typischerweise mit einer Energieausbeute von 10 bis 30 Watt pro Quadratmeter Tunnelfläche zu rechnen. Die Energieausbeute kann dabei über die Temperatur und den Volumenstrom der in den Absorberrohren zirkulierenden Flüssigkeit variiert werden.

Die gewonnene Energie kann vom Tunnelbetreiber für seinen eigenen Energiebedarf genutzt werden, zum Beispiel zum Heizen oder Kühlen der Stationen oder um Stationseingänge oder oberirdische Bahnsteige schnee- und eisfrei zu halten. Sie kann jedoch auch an Energieversorgungsunternehmen für oberirdische Anwendungen verkauft werden.

Bei Wärmeentwicklung durch den Tunnelbetrieb kann die Nutzung von Energietübbings eine kostengünstige und intelligente Methode zum Kühlen des Tunnels darstellen. Bekannte Nachteile gängiger Lüftungsmethoden werden hierdurch vermieden. Insbesondere in Regionen, in denen ein heißes Klima vorherrscht, stößt die Kühlung der Tunnelkonstruktion mittels Lüftung durch den hohen Energiever-

brauch an ihre Grenzen. Hier wird erwartet, dass in den nächsten Jahren verstärkt Absorbersysteme in der Tunnel-schale eingesetzt werden.

3 Projekt Jenbach

Im Zuge der Umsetzung der neuen Hochgeschwindigkeitsstrecke im österreichischen Inntal, die als Zubringer zum Brenner-Basistunnel fungiert, wurde im Bauabschnitt H8 bei Jenbach ein 3.460 Meter langer Tunnel erstellt. Er wurde in Segmentbauweise mit einem Durchmesser von zwölf Metern ausgeführt. Alle Projektbeteiligten, angefangen vom Bauherrn ÖBB über die ausführende Bauunternehmung Züblin (ARGE Jenbach: Züblin & Hochtief) bis zur angrenzenden Gemeinde Jenbach, waren an einer Umsetzung mit Energietübbings als Pilotprojekt interessiert. Nachdem der Bauhof der Gemeinde unmittelbar an einem der Rettungsschächte liegt, wurde der angrenzende Tunnelabschnitt mit Energietübbings ausgestattet, um das Gebäude zu beheizen.

Insgesamt wurden 27 Segmentringe mit Absorberleitungen ausgestattet, was einer aktivierten Tunnellänge von 54 Metern entspricht. Die 50 Zentimeter starken Segmente wurden mit Stahlarmierung ausgeführt, wodurch die Absorberleitungen an den Armierungskörben befestigt werden konnten. Die Herstellung der Segmente erfolgte in der Fertigungsstraße für die Standardsegmente des Tunnelbauvorhabens. Einzig die Aussparungskörper für die spätere Kopplung der Absorberrohre wurden zusätzlich in der Schalung befestigt.

Nach dem Einbau der Energietübbings im Tunnel wurden die Absorberleitungen in jedem Segment miteinander gekoppelt und an den im Rettungsschacht angeordneten Verteiler angeschlossen. Die Absorberrohre von zwei beziehungsweise drei Segmentringen wurden jeweils zu einem Kreis zusammengeschaltet. Über Vor- und Rücklaufleitungen sind die Verteiler im Schacht mit dem Bauhof verbunden. Die einzelnen Heizkreise sowie die Anbindungsleitungen wurden abschnittsweise auf Dichtigkeit geprüft und mit einem Wasser-Glykol-Gemisch gefüllt. Da bei der Aktivierung von Tunnelkonstruktionen unweigerlich Hochpunkte in den Absorberkreisläufen entstehen, wurde besonderes Augenmerk auf die Entlüftung der Kreisläufe gelegt. Über das Aufbringen einer Mindestfließgeschwindigkeit kann die Ansammlung von Luftblasen vermieden werden.

Im Sommer 2011 wurde die Wärmepumpe im Bauhof installiert und an das Tunnelsystem angeschlossen. Die Anlage ging im Winter 2011/2012 erstmalig in Betrieb. Der Zugbetrieb im Tunnel wird voraussichtlich 2012 aufgenommen.

4 Fazit

Absorberrohre können in Tunnelkonstruktionen integriert werden, um einerseits Energie aus dem Erdboden zu gewinnen und um andererseits den Tunnel zu kühlen, falls sich durch den Tunnelbetrieb Wärme entwickelt. Da immer mehr Tunnel unter schwierigen Bodenbedingungen errichtet werden, kommen verstärkt Tunnelbohrmaschinen und Tübbings zum Einsatz. Die Berücksichtigung von Energietübbings in der Tunnelkonstruktion bietet eine kostengünstige Lösung für künftige Anforderungen hinsichtlich regenerativer Energiequellen und Maßnahmen zur Eindämmung des Klimawandels (alternative Kühlung des Tunnels). Insbesondere Stadttunnel bieten ein großes Potenzial als Energiequelle und potenzielle Verbraucher befinden sich in unmittelbarer Nähe.

5 Danksagungen

Die Autoren möchten allen Beteiligten danken, die an der Entwicklung des Energietübbings mitgewirkt haben. Insbesondere unserem Entwicklungspartner ZÜBLIN, der das Fundament gelegt und die ersten Installationen in Deutschland und Österreich ermöglicht hat, sowie ARUP, die das Potenzial des Energietübbings in Bezug auf Tunnelkühlung vergrößert haben. Die erfolgreiche Zusammenarbeit bei der Entwicklung des Energietübbings führte ZÜBLIN, ARUP und REHAU zum Gewinn des „International Tunnelling Award 2011“.

Quellenverzeichnis

- [1] Wilhelm, J., Rybach, L., 2003: The geothermal potential of Swiss alpine tunnels, *Geothermics* 32: pp 557–568
- [2] Hofinger, H., Markiewicz, D., Adam, D., Unterberger, W., 2010. Geothermal energy systems for major projects – design and construction, *Geomechanics and Tunneling* 3 (2010), No. 5, pp 634–646
- [3] Schneider, M., Moormann, C., 2010: GeoTU6 – a geothermal research project for tunnels, *Tunnel* 2/2010, pp 14–21
- [4] Franzius, J. N., Pralle, N., 2011: Turning segmental tunnels into sources of renewable energy, *Civil Engineering* 164, pp 35–40



Auszeichnung mit dem International Tunnelling Award 2011

Projektdaten:

Bauherr: ÖBB AG | Bauträger: ARGE-Tunnel Jenbach | Aktivierte Tunnellänge: 54 m | Zeitraum der Installation: 2008

Autoren:

Ralf Winterling, REHAU AG+Co, Deutschland,
Michael Seemann, REHAU GmbH, Österreich
■ www.rehau.at