

KOLLOQUIUM 2009

**Forschung &
Entwicklung
für Zement
und Beton**

**Kurzfassungen
der Beiträge**

Ausgabe 4. 11. 2009

vōZ*fi*

NEUE BAUVERFAHREN / TECHNOLOGIEN

Randnahe Befestigungen in Beton unter Zugbeanspruchung – Spreizkraft chemischer Befestigungen unter zentrischer Belastung

DI Ronald MIHALA und Prof. DDr. Konrad BERGMEISTER | BOKU Wien, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Wien

Großversuche an Wälzgelenken und umgelenkten Spanngliedern zur Weiterentwicklung des Brückenklappverfahrens

DI Susanne BLAIL und Prof. DI Dr. Johann KOLLEGGER | TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen, Wien

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Oberflächenbehandlungen mittels Tropfenkonturanalyse

DI Dr.techn. Clemens HECHT | TVFA TU Wien GmbH, Wien

DIRECT_MAT – europäischer Technologietransfer über Rückbau und Recycling von Straßenbaustoffen

DI Stefan MARCHTRENKER | Forschungsinstitut der VÖZ, Wien

Selbstverdichtender und rasch erhärtender Vorsatzbeton für schnelle Reparaturen

Dr. Rudolf RÖCK | Schretter & Cie GmbH & Co KG, Vils

DI Maik ARLT | Institut für Materialprüfung und -forschung GmbH, Nordhausen, Deutschland

BETONTECHNOLOGIE

Einfluss des Luftgehaltes im Frischbeton auf das Luftporensystem

Mag.(FH) DI Dr. Stefan KRISPEL | Forschungsinstitut der VÖZ, Wien

Einfluss der Polycarboxylat Kettenlänge auf die Betoneigenschaften

DI Gerhard HAIDEN | Betontechnik GmbH, Langenwang

Einfluss der Luftfeuchte auf die Nanostruktur des Zementsteins

Dr. Jürgen ADOLPHS | Porotec GmbH, Hofheim, Deutschland

NEUE ZEMENTE / BINDEMittel / ZUSATZMITTEL

Schnellzement für besondere Anwendungen – Holcim 104

Prok. Thomas BATLOGG | Holcim (Vorarlberg) GmbH, Bludenz

DI Kerstin WASSMANN | Holcim (Schweiz) AG, Zürich, Schweiz

Kornzusammensetzung von Mehlkorn – Einfluss der Bestimmungsmethode

Univ.-Doz. DI Dr. Peter NISCHER | Forschungsinstitut der VÖZ, Wien

Möglichkeiten zur Ermittlung der Kornzusammensetzung von Mehlkorn

DI Dr. Eva K. FISCHBÖCK | Forschungsinstitut der VÖZ, Wien

Zement und PCE für unterschiedliche Betonieraufgaben – Erfahrungen bei der Auswahl geeigneter Fließmittel für weiche bis fließfähige Betone

DI Peter CHRISTLMEIER und Dr. Michael HARTMEIER | Südbayerisches Portlandzementwerk, Rohrdorf, Deutschland

Betoneinsparung im Tunnelbau mit ökologischem Gütesiegel

Dr. Karl-Jürgen MANN | Zuckerforschung Tulln GmbH, Tulln

ENTWICKLUNGEN / BAUPRAXIS

Deckensystem aus Betonfertigteilen für eine flexible Gebäudeausrüstung

DI Andreas KAINZ | TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen, Wien

DI Harald TROMMET | Franz Oberndorfer GmbH & Co, Gunskirchen

Zweifach gekrümmte Schale aus Betonfertigteilen

DI Sonja DALLINGER, DI Herbert PARDATSCHE und Prof. DI Dr. Johann KOLLEGGER | TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen, Wien

Direkt befahrbarer konstruktiver Aufbeton auf Brücken *(Bei Abgabeschluss noch nicht eingelangt)*

DI Franz PROIDL | Amt der NÖ Landesregierung, St. Pölten

Integrative Lebenszyklusbewertung von Betonstrukturen

DI Dr. habil. Alfred STRAUSS und Prof. DI DDr. Konrad BERGMEISTER | BOKU Wien, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Wien

Griffigkeit von Betonstraßen – gesicherte Qualität durch neue Prüfmethodik *(Bei Abgabeschluss noch nicht eingelangt)*

DI Lukas KIRCHMAIER | TU Wien, Institut für Verkehrswissenschaften, Wien

DI Dr. Andreas PFEILER | Güteschutzverband der österr. Kies-, Splitt- und Schotterwerke, Wien

Ultrahochleistungsfaserbeton – Anwendung für Instandsetzung

DI Kerstin WASSMANN und Dr. Peter LUNK | Holcim (Schweiz) AG, Zürich, Schweiz

S6 Massenbergtunnel – helle Tunnelschale ohne Beschichtung

DI Michael STEINER | ASFINAG Bau Management GmbH, Wien

Ing. Werner STROMMER | ASFINAG Bau Management GmbH, Bruck/Mur

Rezepturoptimierung für die Herstellung einer dünnen Brandschutzschale – Bauprojekt Brenner Zulaufstrecke *(Bei Abgabeschluss noch nicht eingelangt)*

DI Roland MURR | Materialversuchsanstalt Strass, Pöyry Infra GmbH, Strass

DI Dr. Markus TESTOR | Brenner Eisenbahn GmbH

Randnahe Befestigungen in Beton unter Zugbeanspruchung

Verbundtragverhalten chemischer Befestigungen unter zentrischer Belastung

Dipl.-Ing. Ronald Mihala
Prof. DDr. Konrad Bergmeister
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
BOKU Wien

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem **Verbundtragverhalten eingeklebter Ankerstangen** am Bauteilrand. Zur Einleitung von Lasten in Beton werden im Bauwesen Befestigungssysteme auf der Grundlage chemischer Mörtel verwendet. Diese umfassen nicht nur die herkömmlichen Verbunddübel, sondern auch Bewehrungsanschlüsse mit nachträglich eingemörtelten Bewehrungsstäben zur Verbindung von Stahlbetonteilen. Trotz der Ähnlichkeit der beiden genannten erfolgt die Bemessung unterschiedlich. Ziel dieser Forschung ist es, aufbauend auf experimentellen Versuchen und in weiterer Folge mit Unterstützung der Methode der finiten Elemente, ein Bemessungsmodell zu schaffen, welches es erlaubt, beide Systeme einheitlich zu bemessen. Es also möglich macht, einen Verbunddübel genauso nah an den Rand zu setzen und zu bemessen wie eingeklebte oder einbetonierte Bewehrungsstäbe.

Versuchsergebnisse mit eingeklebten Gewindestangen haben gezeigt, dass wesentlich höhere Lasten als bei eingeklebten Bewehrungsstäben erzielt werden können (Abbildung 1). Die vorherrschende Bruchart war im Gegensatz zu den Bewehrungsstäben (kombiniertes Versagen – Spalten der Betonkante mit nachträglichem Verbundversagen) ausschließlich Betonausbruch.

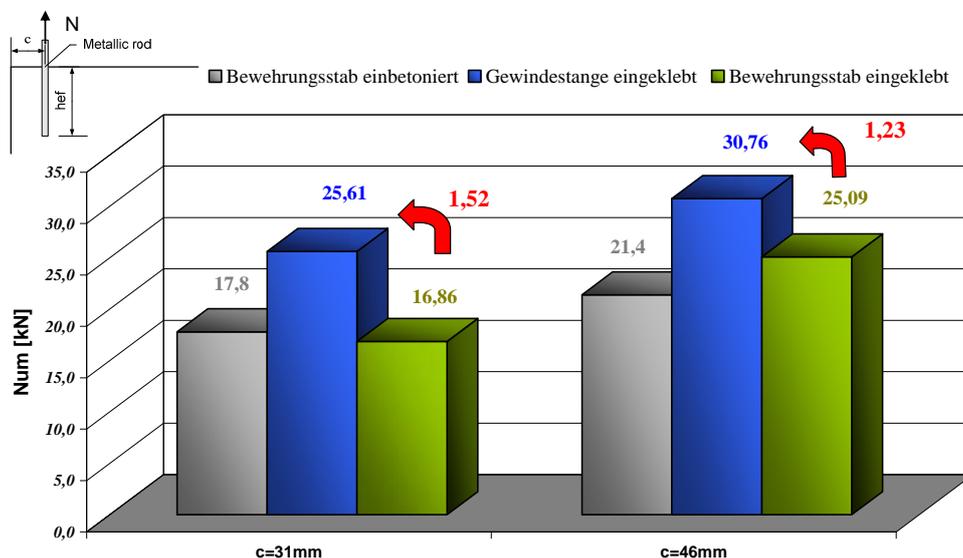


Abbildung 1: Ergebnisse von Auszugsversuchen am Bauteilrand mit $d_s=12\text{mm}$, $h_{ef}=7d_s$ und Verbundmörtel A

Trotz reinem Betonausbruch konnte auch hier ein Spaltriss messtechnisch nachgewiesen werden (Abbildung 2). Die dabei gemessenen Rissbreiten waren kleiner als bei den Bewehrungsstäben, was auf geringere Spaltkräfte hindeutet. Daraus folgte, dass kein Versagen der Betonkante mit sekundärem Verbundbruch beobachtet werden konnte.

Ziel weiterführender Untersuchungen war es, die Annahme, dass **eingeklebte Bewehrungsstäbe höhere Spreizkräfte als Gewindestangen** – gleiche geometrische Randbedingungen vorausgesetzt - erzeugen und somit zu einem frühzeitigen Versagen führen, zu beweisen.

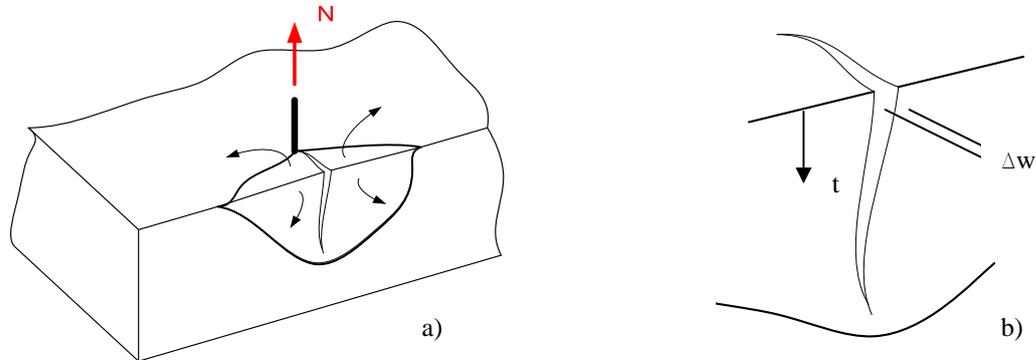


Abbildung 2: a) Versagen des Bauteilrandes durch Spalten und b) Messung der Rissbreite Δw

Dazu wurden einerseits zu theoretischen Überlegungen Versuche zur Ermittlung der Spreizkräfte von eingeklebten Bewehrungsstäben bzw. Gewindestangen - so genannte Funktionsersatzprüfungen FEP - durchgeführt, um dadurch indirekt eine Aussage über das Verbundtragverhalten dieser Systeme treffen zu können. Zeitgleich zu den experimentellen Untersuchungen wurden numerische Berechnungen von Gewindestangen und Bewehrungsstäben in der Bauteilmitte eines Betonblocks gestartet, wobei hier das Hauptaugenmerk auf den Spannungsverlauf und der Ausbildung der Druckstrebenwinkel (Abbildung 3) entlang der Verankerungstiefe gelegt wurde.

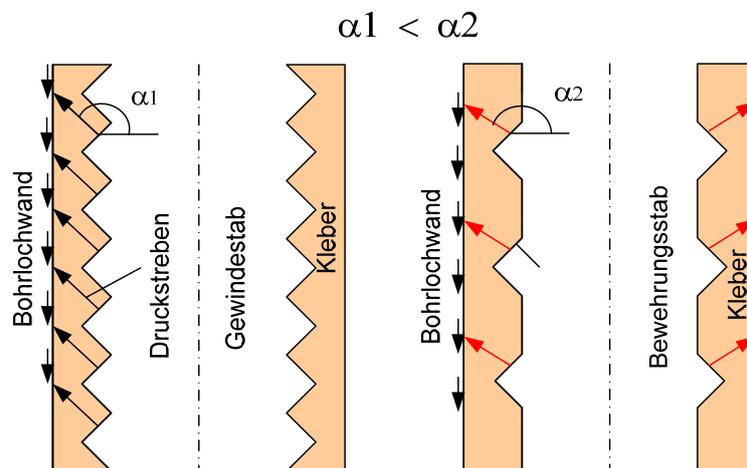


Abbildung 3: Annahme der Ausbildung des Druckstrebenwinkels bei Gewinde- und Bewehrungsstab

Zur Durchführung der **Spreizkraftmessungen** wurde zunächst ein Betonwürfel vor der Bohrung mittig zersägt und in einer Vorrichtung wieder zusammengespannt. Anschließend wurde das Bohrloch – welches mittig durch die Trennfläche hindurch verlief - gebohrt und der Gewinde- bzw. Bewehrungsstab in das Bohrloch mit einem Verbundmörtel geklebt (Abbildung 4). Dieser vorbereitete Betonwürfel konnte anschließend in ein Stahljoch - welches ein Spalten der Würfelhälften in Querrichtung verhinderte – eingespannt werden. Mit einer angedübelten Stahlplatte und darin eingeschraubtem Bolzen wurden diese Würfelhälften zug- und druckfest mit

den Querhäuptern einer servohydraulischen Prüfmaschine (Lastbereich 100 kN) verbunden. [1] Nach dem Aufbringen einer seitlichen Vorspannung von 0,5 N/mm² (entspricht einer Montagevorspannkraft $S_{p,M} \sim 20$ kN) durch Kurbeln von Hand wurden Wegaufnehmer und Messuhren auf Null gestellt und die Schraubkraft N mittels eines unteretzten Getriebes langsam bis zum Bruch gesteigert.

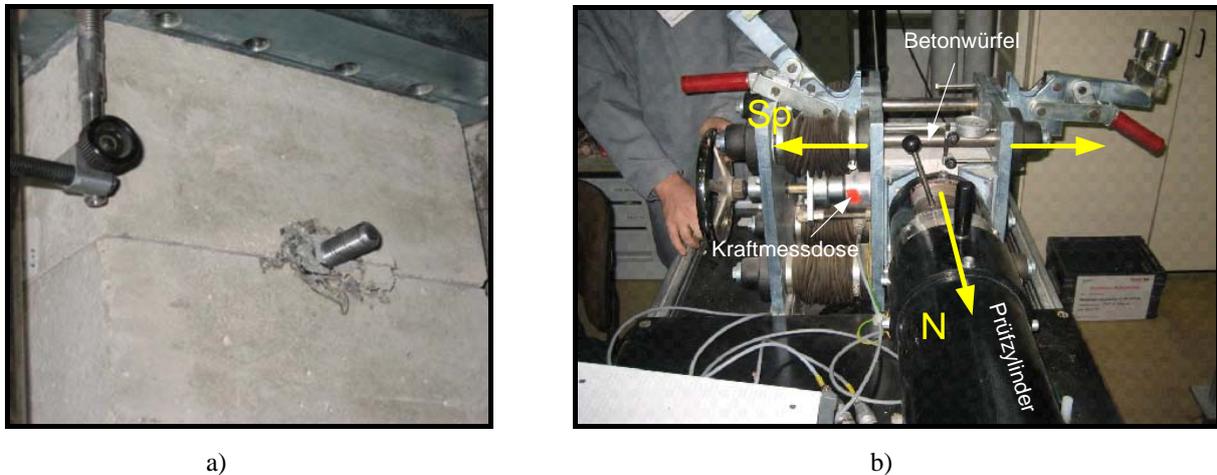


Abbildung 4: a) Betonwürfelhälften mit eingeklebtem Gewindestab und b) FEP Prüfmaschine

Diese Versuchsserien der Spreizkraftmessungen zeigten, dass das Verhältnis Spreizkraft S_p bei maximaler Ausziehlast N_u (Normalkraft) zur maximalen Ausziehlast N_u bei den Bewehrungsstäben wesentlich höher ausfällt als bei eingeklebten Gewindestangen (siehe dazu Tabelle 1 und Abbildung 5). Dadurch kam es mit zunehmender Ausziehlast zu einem rascheren Ansteigen der Spaltkraft als bei den Gewindestangen und zu einem rascheren Erreichen jener Spreizkraft, die letztendlich zum Versagen des Systems führte. Dieser Umstand und die Annahme, dass bei eingemörtelten Bewehrungsstäben unter den *Rippen lokale Spannungsspitzen* (Abbildung 6) entstehen, führten zu einem frühzeitigen Aufbrechen dieser rotationsförmigen Kegelschalen und somit zum früheren Versagen eingeklebter Bewehrungsstäbe. Dieses Modell kann eigentlich mit dem Versagen von Betonnasen (-konsolen) auf Druck zwischen den Rippen verglichen werden.[2]

Tabelle 1: Versuchsergebnisse der Spreizkraftmessungen

Kleber	Stab	d_s [mm]	h_{ef} [mm]	n	N_u [kN]	v [%]	$S_{p,N_u}/N_u^{1)}$	Bruchbild
Hybridkleber	BST 500 S	12	110	3	33,7	2,1	0,72	
	GEWINDE				60,2	6,2	0,39	

Eingeklebte Gewindestangen weisen ein ähnliches Verhalten zwischen den einzelnen Wendeln auf. Auch hier kam es zum Versagen dieser so genannten Klebernasen bzw. Kleberkonsolen, mit dem Unterschied, dass sich hier - aufgrund der kleinen Abstände zwischen den einzelnen Wendeln - keine lokalen Spannungsspitzen aufbauen konnten (*verschmiertes System*). Der Kleber hat die Möglichkeit, die Ausziehlast der Ankerstange über Verbundspannungen sukzessive entlang der Verankerungstiefe zum lastfernen Ende abzubauen. Dies wurde schon in zahlreichen Arbeiten durch Messen der Verbundspannungen (abgeleitet über gemessene Dehnungen) bestätigt. [3]

All diese Untersuchungen wurden in Betonprüfkörpern mit ausreichendem Abstand vom Bauteilrand durchgeführt. Befindet sich die Ankerstange jedoch in unmittelbarer Nähe eines Bauteilrandes mit kleiner Betondeckung, dann kommt ein anderer Versagensmechanismus zum Tragen. Hier führt eine - hervorgerufen durch den Verbund - in radiale Richtung auftretende Belastung zu Ringzugspannungen, die beim Erreichen bzw. Überschreiten der Zugkapazität des Betons ein Aufreißen der über dem Ankerstab befindlichen Betondeckung bewirkt. Diese Längsrisssbildung, die immer am belasteten Ende der Verankerung beginnt und sich bis zum lastfernen Ende vorarbeitet, konnte in zahlreichen Messungen mit einem *Interferometer* beobachtet werden. Auch hier zeigte sich, dass die Erstrissbildung bei Verwendung von Bewehrungsstäben als Befestigungselement viel früher als bei Gewindestangen einsetzte und die Rissbreiten bei gleicher Laststufe wesentlich größer ausfielen. Die Annahme **einer höheren lokalen Spreizkraftentwicklung bei Bewehrungsstäben** kann durch diese Versuche zusätzlich untermauert werden.

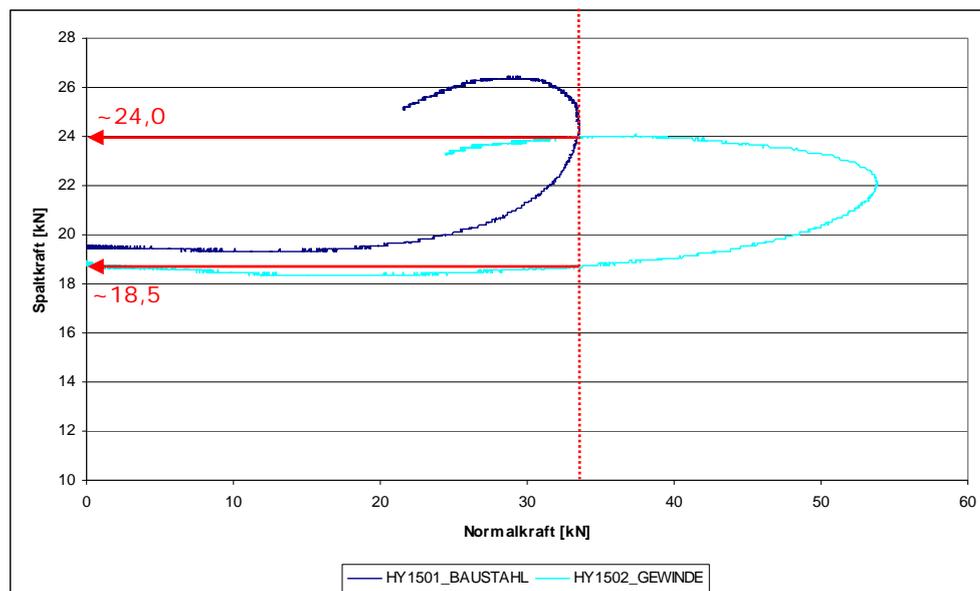


Abbildung 5: Spaltkraftverlauf S_p als Funktion der Ausziehlast N für Verbundmörtel Typ A

Um den Spannungsverlauf entlang der Verankerungstiefe besser zu verstehen, wurden zeitgleich zu den experimentellen Untersuchungen numerische Berechnungen mit dem FE Programm ABAQUS durchgeführt. Für diese Aufgabenstellung wurde ein vereinfachtes Modell ohne Berücksichtigung des Verbundmörtels gewählt. Das Verhalten der Ankerstangen wurde linear elastisch-plastisch erfasst. Der Beton selbst wurde über ein Drucker-Prager-Cap Modell simuliert wobei zwischen Ankerstange und den umgebenden Beton starrer Verbund angenommen wurde. Mit den Ergebnissen der numerischen Untersuchungen konnte ganz klar nachgewiesen werden, dass eingemörtelte Bewehrungsstäbe unter den Rippen höhere lokale Spannungsspitzen als

eingemörtelte Gewindestäbe erzeugen (siehe Abbildung 6). Eingemörtelte Gewindestäbe weisen aufgrund der kleinen Abstände zwischen den einzelnen Wendeln - keine lokalen Spannungsspitzen auf (*verschmiertes System*).

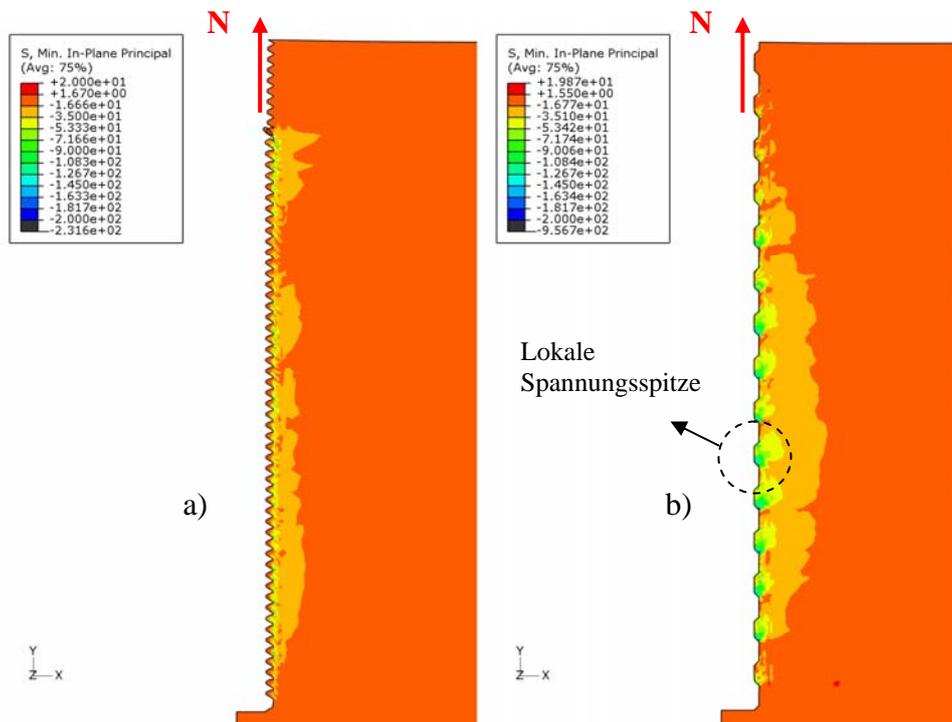


Abbildung 6: Ergebnis der FE – Analyse mit a) Gewindestange und b) Bewehrungsstab mit $h_{ef}=110\text{mm}$ und $d_s=12\text{mm}$ [4]

Literatur

- [1] Mayer B., “Funktionsersatzprüfungen für die Beurteilung der Eignung von kraftkontrolliert spreizenden Dübeln“, Dissertation, Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart, Februar 1990
- [2] Schenkel M., “Zum Verbundverhalten von Bewehrung bei kleiner Betondeckung“, Dissertation, ETH Zürich, September 1998
- [3] Unterweger R., “Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Tragverhalten von chemischen Verankerungen“, Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien, November 1999
- [4] Dassault Systems Simulia: Abaqus User’s Manual Version 6.7, 2007

Großversuche an Wälzgelenken und umgelenkten Spanngliedern zur Weiterentwicklung des Brückenklappverfahrens

DI Susanne Blail und Prof. DI Dr. Johann Kollegger
TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen, Wien

Am Institut für Tragkonstruktionen – Betonbau der Technischen Universität Wien wurde ein neues Brückenbauverfahren, nämlich das Brückenklappverfahren entwickelt. Dieses verspricht beim Bau von Talbrücken einen rascheren Baufortschritt und eine Einsparung an Baustoffen bis zu 30% gegenüber anderen bekannten Verfahren, wie etwa dem Freivorbau- oder Taktschiebeverfahren. Die Idee dabei ist, dass nicht nur der Pfeiler, sondern auch die Fahrbahnteile senkrecht, beispielsweise mittels einer Kletterschalung, hergestellt und anschließend in die horizontale Endposition geklappt werden.

Es wurden für die Knotenpunkte des Brückenklappverfahrens 1:1 Versuchsreihen gestartet. Die Versuchreihe mit den so genannten Wälzgelenken umfasst 18 Versuchskörper wobei zwei verschiedene Betonqualitäten (C20/25, C50/60), zwei Stahlblechdicken (10 mm, 30 mm) und drei unterschiedliche Radien (0.5 m, 1.0 m und 2.0 m) variiert wurden. Im Falle der Druckstrebenvariante des Brückenklappverfahrens befinden sich solche Wälzgelenke im Knotenpunkt, wo die beiden Druckstreben aneinander abrollen. Bei der Zugstrebenvariante ist es der Knotenpunkt mit den beiden Brückenträgern. Abbildung 1 zeigt die Herstellung der Versuchskörper aus Beton mit Stahlblechen ummantelt. Die Wälzgelenke in Form von Drehzylindern wurden in einem Prüfrahmen eingespannt und aneinander gedrückt, während eine Drehung von 4 Grad hinauf und 4 Grad hinunter erfolgte. Ein Ablauf, welcher dem Aufklappvorgang des Brückenklappverfahrens sehr realitätsnah nachgebildet wurde. Die Versuchsdurchführung erfolgte bei verschiedenen Laststufen, wobei die ersten drei mit 200 kN, 600 kN und 1000 kN für das Herauslesen der entstandenen Rollreibung erforderlich waren. Die Wälzgelenke wurden bis zum Versagen belastet (siehe Abbildung 2). Während der gesamten Versuchsdauer wurden stets die Verschiebungen der beiden Wälzgelenke untereinander mittels Wegaufnehmern mitgemessen. Es waren jeweils fünf Wegaufnehmer pro Seite angebracht.



Abbildung 1: Herstellung der Wälzgelenke

Ziel ist es ein Modell zur Erfassung des Tragverhaltens der Wälzgelenke auf Basis einer numerischen Untersuchung zu erfassen.



Abbildung 2: Wälzgelenke mit Radius 0.5 m, Stahlblechdicke 10 mm, nach dem Belasten bei Laststufe 10000 kN

Die zweite Versuchsreihe für die Knotenpunkte des Brückenklappverfahren umfasst 25 Versuche an umgelenkten Spanngliedern. Ein Betonblock mit den Abmessungen ($l/b/h = 4,50 \text{ m}/4,50 \text{ m}/1,60 \text{ m}$) wurde auf den Aspanggründen, Versuchsareal der Technischen Universität Wien hergestellt. Dieser wurde ausreichend bewehrt und Spannglieder mit vier unterschiedlichen Radien (0.5 m, 1.0 m, 3.0 m und ∞) wurden eingebaut. Die erforderlichen Hüllrohre wurden mit unterschiedlichen Litzen auf Blechschalungen von der Firma Grund- Pfahl- und Sonderbau verlegt und der Höhe nach in drei Lagen untergebracht. Danach konnte in drei Stufen betoniert werden, da der Krümmungsbereich der Hüllrohre jeweils mit Vergussmörtel verdichtet wurde. Die

Betongüte des Betonblocks, welcher Ende Juli 2009 komplett fertiggestellt wurde, beträgt C 40/50.



Abbildung 3: Betonblock mit umgelenkten Spanngliedern eingebaut

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Oberflächenbehandlungen mittels Tropfenkonturanalyse

Dipl.-Ing. Dr.techn. Clemens Hecht
Leiter der Abteilung Bautechnik, Baustoffprüfung und Bauschadensanalyse
Gußhausstrasse 25a, 1040 Wien

Technische Versuchs- und Forschungsanstalt GmbH
Karlsplatz 13 | 1040 Wien

Tel.: +43 (1) 58801 43033 | Fax: +43 (1) 58801 43099 | Mobil: +43 (0)664 60588 6423
Mail: clemens.hecht@tvfa.tuwien.ac.at | Url: www.tvfa.tuwien.ac.at

Ausgewählte Behandlungen von Oberflächen basieren darauf, dass ein Wirkstoff bzw. dessen Verdünnung auf den Baustoff in Form einer Lösung gebracht wird. Beispielhaft seien hier Maßnahmen zur Hydrophobierung und Beschichtung von Oberflächen genannt. Gleiches gilt sinngemäß für nachträgliche Abdichtungsmassnahmen im Bauteilquerschnitt.

Die erzielte Wirksamkeit und damit die Gebrauchstauglichkeit der Maßnahme lässt sich mit bauphysikalischen Größen beschreiben, meist durch Wasseraufnahme oder Wassergehalt. Angeregt durch Fachpublikationen wird ein Zusammenhang zwischen Kontaktwinkel von Wasser auf dem behandelten Material und der Qualität der Applikation hergestellt. Es werden Proben unter verschiedenen Bedingungen mit einzelnen Materialien behandelt, auf denen der Kontaktwinkel mit kontinuierlicher Tropfenkonturanalyse von Wasser gemessen wird. Zusätzlich wird untersucht, ob die Behandlung ebenfalls auf Bohrgut nachweisbar und in ihrer Qualität zu beurteilen ist. Damit lässt sich die Eindringtiefe des Materials bestimmen. Dies hat den Vorteil, dass durch minimalen Aufwand bei der Probenahme und der Messung sehr rasch und preiswert ein Ergebnis vorliegt. Bedingung ist, dass der beobachtete Tropfen über einen längeren Zeitraum und nicht zu einem Zeitpunkt ausgewertet wird!

Anhand der gewonnenen Messergebnisse ist zu bemerken, dass eine z.B. hydrophobe Wirkung von Behandlungen mittels Kontaktwinkel erkennbar ist. Durch die Größe des Winkels kann jedoch nicht eindeutig auf die Qualität der Ausführung geschlossen werden, zu starke Verdünnungen und niedrige Applikationstemperaturen wirken sich nicht systematisch aus.

Analog zeigen die Ergebnisse auf Bohrmehl kein klares System. Die Kontaktwinkel sind geringer, als bei den Messungen am Feststoff, die Werte liegen jedoch klar über 90°. Das zeigt, dass die Eigenschaftsänderung (z.B. hydrophobe Wirkung) auch am Bohrgut nachweisbar ist. Die Streubreiten der Ergebnisse am Bohrmehl sind im Vergleich zu den Messungen auf dem Festkörper geringer, da das Bohrmehl homogener zu beurteilen ist, hingegen haben Poren und unbehandelte Bereiche (Feststoff) größeren Einfluss auf das Messergebnis.

Da viele Faktoren das Ergebnis beeinflussen, reicht ein einzelner Wert des Kontaktwinkels nicht zur Beurteilung eines Materials aus. Die Aussage ob die Massnahme ausgeführt wurde kann auf jeden Fall getroffen werden. Es ist sinnvoll, definierte Rahmenbedingungen zu schaffen, wie Mindest-Tropfenanzahl, Beobachtungszeitraum, Messtemperatur und Tropfengröße. Die Inhomogenitäten bei mineralischen Baustoffen stellen eine weitere Hürde der Vergleichbarkeit dar, darum ist zu empfehlen, den Kontaktwinkel ausschließlich als zusätzliches Beurteilungskriterium anzuwenden; zum Beispiel im Zusammenhang mit der Wasseraufnahme.



DIRECT_MAT

Europäischer Technologietransfer über Rückbau und Recycling von Straßenbaustoffen

DI Stefan Marchtrenker | Forschungsinstitut der VÖZ, Wien

Überlegungen zur Ressourcenschonung und zur Nachhaltigkeit von Produkten sind schon in vielen Bereichen der Wirtschaft unerlässlich. Auch in der Bauwirtschaft wird derartigen Grundsätzen immer mehr Gewichtung als Bestandteil für Entscheidungen zugewiesen.

Dennoch sollen besonders im Straßenbau ressourcenschonende Baumethoden verbessert und in größerer Breite in Verwendung gebracht werden. Außerdem gilt es die in weiten Teilen West- und Mitteleuropas angewendeten Technologien auch in den neuen Beitrittsländern der EU bekannt zu machen und deren Anwendung zu fördern.

Einen Beitrag dazu leistet das von der EU im Zuge des 7. Rahmenprogramms geförderte Projekt DIRECT_MAT (DISmantling and RECYcling Techniques for road MATerials), bei dem EU-weit 20 Institute aus 15 Nationen mitwirken. Für Österreich beteiligt sich das Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie und wird besonders im Bereich der ungebundenen Tragschichten mitarbeiten. Besonders hier stellt sich die Frage nach einem verantwortungsbewussten Umgang mit den Materialien. Es gilt durch optimale Rückbaumethoden und gute Wiederverwertungsalternativen eine vermehrte Deponielagerung möglichst zu vermeiden.

In der ersten Projektphase wird der aktuelle Wissensstand ermittelt und Hinweise auf relevante Normen, Richtlinien und aktuelle Forschungsberichte auf einer Online-Plattform zugänglich gemacht. Diese Datenbank soll auch in Zukunft europaweit für die Dokumentation von Straßenbauprojekten, bei denen hohe Anteile an wiederverwerteten Materialien verwendet wurden, für die Recherche über Technologien und Regelungen in EU-Mitgliedsstaaten, sowie für den Erfahrungsaustausch verwendet werden.

Des Weiteren werden während der Projektlaufzeit (2009-2011) auch aktuelle Praxisberichte gesammelt und in die Datenbank integriert.

Abschließend werden auf Basis der gesammelten Informationen Leitfäden veröffentlicht, die eine optimale Nutzung des aktuellen Wissensstandes auf dem Gebiet der Wiederverwertung von Straßenbaumaterialien ermöglicht.

Um einen optimalen Effekt für die späteren Nutzer erzielen zu können setzt DIRECT_MAT stark auf die Miteinbeziehung von beteiligten Unternehmen und Fachleuten in den Mitgliedsländern. Diese werden auf der Homepage <http://direct-mat.fehrl.org> über den Entwicklungsstand des Projekts informiert, können dort immer wieder über Fragebögen aktiv an der Gestaltung teilnehmen und, sowie selbstverständlich auch bei den Ansprechpersonen der Projektpartner, Anregungen und Verbesserungsvorschläge einbringen.

DIRECT_MAT wird durch die Europäische Kommission im Zuge des 7. Rahmenprogramms (FP7/2007-2013) unter der Vertragsnummer 218656 gefördert.

Selbstverdichtender und rasch erhärtender Vorsatzbeton für schnelle Reparaturen

Die Reparatur von Wasserbauwerken steht in der Regel unter hohem Zeitdruck, gilt es doch, den Betriebsstillstand der Anlage, sei es eine Wehranlage, eine Schifffahrtsschleuse oder ein Kraftwerksgerinne möglichst kurz zu halten.

Mit der Neuentwicklung eines selbst verdichtenden schnell erhärtenden und frostbeständigen Betons mit GK 8 mm ist eine Ausschalzeit von 4 Stunden möglich, sodass während nur einer Nacht sowohl Betonierarbeiten als auch Ausschalarbeiten bewerkstelligt werden können und eine Freigabe der Anlage am nächsten Morgen erfolgen kann.

Im Beitrag werden Anforderungen, Eigenschaften, technischen Kennwerte sowie die Verarbeitungsverfahren erläutert.

Rudolf Röck Schretter & Cie GmbH & Co KG, Vils
Maik Arlt (Inst. F. Materialprüfung u. Forschungs GmbH)

Einfluss des Luftgehaltes im Frischbeton auf das Luftporensystem

Bei der Kombination von Luftporen- und Fließmitteln besteht die Gefahr, dass bei gleichem Gesamtluftgehalt sehr wenige feine Poren, dafür aber sehr viele grobe (für die Beständigkeit des Betons unwirksame) Poren im Beton entstehen. Eine geringere Beständigkeit ist insbesondere für Beton mit hoher Wassersättigung und direktem Taumittelauftrag, wie z.B. bei Straßendecken, Brückenbauteilen und Verkehrsleitwänden von großem Nachteil. Die Beständigkeit hinsichtlich Frost-Taumittelbeanspruchung ist durch den Gehalt an Mikroluft (L300) und den Abstandsfaktor (AF) charakterisiert. Diese so genannten Luftporenkennwerte können nur am Festbeton ermittelt und beurteilt werden, da eine positive Bestimmung des Gesamtluftgehaltes am Frischbeton keinesfalls ein positives Ergebnis am Festbeton bedeutet. Das gegenständliche Forschungsvorhaben dient deshalb, neben der Darlegung der Einflüsse des Luftgehaltes im Frischbeton auf die Luftporenkennwerte L300 und L1000 für Straßenbeton und Straßenfließbeton, dem Nachweis der Gültigkeit der Festlegungen und normativen Umsetzung der Durchführung von Erstprüfungen von Betonrezepturen unter Einsatz von Luftporen- und Fließmitteln insbesondere der Berechnung der Luftporen-Kennwerte am Festbeton (ÖNORM B 4710-1:2007 und ONR 23302:2008).

Die Auswertung der Ergebnisse der Luftporenkennwertbestimmungen am Festbeton zeigt, dass die, auf Basis der Auswertung zahlreicher in Österreich vorliegender Messergebnisse, in der ONR 23302 getroffene Annahme der Gleichsetzung des am Frischbeton ermittelten Luftgehaltes mit dem Luftgehalt L1000, bestimmt am Festbeton, bestätigt werden kann. Weiters zeigte sich, dass die Einhaltung der Anforderungen an die Luftporenkennwerte (insbesondere Abstandsfaktor) bei Beton mit Ausfallskörnung (Oberbeton) – insbesondere bei höheren Konsistenzen – sowohl herstellungstechnisch als auch baupraktisch schwieriger als bei Beton mit stetiger Sieblinie (Unterbeton bzw. konventioneller Oberbeton mit GK22 und Besenstrich) ist.

Wesentliches Ergebnis des Forschungsvorhabens ist, dass die Luftporenverteilung bei einer Betonzusammensetzung und Konsistenz sowohl bei hohem als auch niedrigem Luftgehalt gleich ist. Eine Errechnung bei einem anderen Luftgehalt als dem tatsächlichen Luftgehalt - wie in der ONR 23302 vorgesehen - ist daher bei Bedarf durchzuführen.

Eine Überarbeitung der gültigen RVS 08.17.02, Ausgabe 2007 erscheint notwendig, da bei den gegebenen Anforderungen an das Luftporensystem eine Betonherstellung nicht zielsicher möglich ist und deshalb der für die Anforderungen an das Luftporensystem erforderliche Mindestluftgehalt im Frischbeton festgelegt werden muss. Baupraktisch ist dies ohne Nachteil für die Festigkeit der Betondecke, da bei der Bauausführung der derzeitige Mindestluftgehalt im Mittel im Allgemeinen überschritten wird.

Diese Überarbeitung dient, neben der Vereinheitlichung der österreichischen Regelwerke, einer Vereinfachung der Überprüfung und Korrelation von Baustellenergebnissen mit aus Erstprüfungen resultierenden Werten.

Mag.(FH) Dipl.-Ing. Dr. Stefan KRISPEL
Forschungsinstitut der Vereinigung der österreichischen Zementindustrie
Abteilung Betontechnik
Reisnerstraße 53
A-1030 Wien
Tel: +43/01/714 66 81 - 46
Fax: +43/01/714 66 81 - 66
E-Mail: krispel@voezfi.at
www.zement.at

Einfluss der Polycarboxylat Kettenlänge auf die Betoneigenschaften

DI Gerhard HAIDEN

Betontechnik GmbH, Langenwang

Der überwiegende Anteil der hochwertigen Betone wird heute mit Fließmitteln auf Basis Polycarboxylatether hergestellt.

Der Aufbau der Polycarboxylat Moleküle – im Besonderen die Länge der Seitenkette – hat entscheidenden Einfluss auf die Betonqualität:

- Verflüssigungsleistung des Fließmittels im Beton nach Mischen
- Konsistenzhaltung und Verarbeitungszeit des Frischbetons
- Viskosität des Zementleims – Klebrigkeit des Frischbetons
- Frühfestigkeiten des Betons

Die Möglichkeiten die Eigenschaften des Betons zu verändern, sind mit PCE-basierenden Fließmitteln enorm.

Der Vortrag soll einen Einblick in die weite Spielwiese geben und helfen das richtige Fließmittel für die jeweilige Betonanwendung zu finden.

Einfluss der Luftfeuchte auf die Nanostruktur des Zementsteins

Dr. Jürgen Adolphs

Porotec GmbH, Niederhofheimer Str. 55a, D-65719 Hofheim/Ts. /Germany

Beton ist weltweit der meistverwendete Baustoff und seine Bedeutung steigt ständig. Die interessierende Längenskala reicht von Kilometern (z.B. Autobahnen, Brücken) bis hin zu weniger als ein Nanometer im Bereich des Mikrogefüges. Betonbauten sind oft extremen Klimabedingungen ausgesetzt. Dabei werden fast alle Eigenschaften von dem Mikrogefüge des Zementsteins geprägt, dem Bindemittel der verschiedensten Zuschläge im Beton. Zementstein selbst besteht im wesentlichen aus Kalzium Silikat Hydraten, sogenannten CSH Phasen, die ein nanoporöses System bilden. Die typischen Nanoporen von ca. 2nm Porenradius sind sogar in dem hochdichten Ultrahochleistungsbeton UHPC enthalten. In Normalbetonen, in Abhängigkeit vom Wasser-Zementwert und der Art der Zuschläge und chemischen Zusatzstoffen wie Luftporenbildner finden sich zusätzlich Poren im Bereich von 10nm bis in den Kapillarporenbereich von einigen Mikrometern sowie im Luftporenbereich von Millimetern Größe. Diese Poren sind für den Transport in der Gas- und Flüssigphase verantwortlich und somit hinsichtlich des Eintrags von Schadstoffen (CO₂, SO₂, Chloride) von essentieller Bedeutung für die Beständigkeit von Betonbauten. Auf jeden Fall sind die Betoneigenschaften nicht nur von der Temperatur sondern auch von der Umgebungsfeuchte abhängig. Neben den mechanischen werden auch die physikalisch-chemischen Eigenschaften beeinflusst. Einige Beispiele werden in dem Vortrag vorgestellt: Bei ca. 50% relativer Feuchte zeigt Zementstein aus Portlandzement mit w/z=0,4 Minima der Druckfestigkeit, der spezifischen Oberfläche (SANS, Stickstoffsorption) und des Quecksilberkontaktwinkels. Auf der anderen Seite ist dort ein Maximum der Mesoporengrößenverteilung gemessen mit Quecksilberporosimetrie und SAXS sowie ein dazugehöriges Diffusionsmaximum zu finden. Dies hat wiederum Einfluss auf chemische Reaktionen wie der Karbonatisierung. Quellen und Schwinden sind unterhalb 50% relativer Luftfeuchte durch eine Abnahme der Oberflächenenergie des Zementsteins geprägt, während bei höheren Feuchten durch Kapillarkondensation in den größeren Poren Kapillar- und Spaltdruck wirken. Zusammenfassend bewirken Änderungen der Luftfeuchte in der Regel starke nichtlineare Gefügeänderungen. Offensichtlich repräsentiert eine Porengrößenbestimmung an einem wie auch immer getrockneten Zementstein nicht die Realität. Zudem sind zyklische Feuchtwechsel von Interesse, da die klimatische Vorgeschichte des Zementsteins eine große Rolle spielt. Ein besseres Verständnis der Wechselwirkung zwischen Feuchte und dem nanoporösen kolloidalen Hydratsystem Zementstein sollte letztlich in der Anwendung zu einer wesentlich besseren Beständigkeit von Betonbauten beitragen.

1. Adolphs, J. "Interaction of Water Vapour with Hardened Cement Paste – Specific Effects at 30%RH", *Restoration of Buildings and Monuments* (special issue EUROMAT 2007, edit. J. Adolphs), Vol. 14, No. 4, 2008, pp. 251-258.
2. Adolphs, J. "Physico – Mechanical and Chemical Properties of Hardened Cement Paste Interacting with Moisture" invited keynote lecture paper RILEM Proceedings 5th International Essen Workshop - Transport in Concrete 11.-13. June 2007, pp. 181-194.

3. Adolphs, J. "Moisture Dependence of Pore Size and Specific Surface Area of Hardened Cement Paste Determined with SAXS and Inverse Gas Chromatography", Symposium on Brittle Matrix Composites 8 in Warsaw in October 23-25, 2006, 35-44.
4. Adolphs, J. „Surface Energies of Hardened Cement Paste“, (invited paper) *Materials and Structures* Vol. 38, 443-448 (2005).
5. Adolphs, J., Heine, P., Setzer, M.J.: „Changes in Pore Structure and Mercury Contact Angle of Hardened Cement Paste Depending on Relative Humidity“, *Materials and Structures* Vol. 35, 477-486 (2002).
6. Adolphs, J. : „Karbonatisierung in den CSH-Gelporen bei niedrigen Luftfeuchten?“, Proceedings IBAUSIL Weimar September 20-23 2006, S. 2.0611-2.0618.
7. Adolphs, J., Schreiber, A.: „Microstructural Characterisation of Ultra-High Performance Concrete“ Proceedings *International Symposium on Ultra High Performance Concrete* (eds. M. Schmidt, E. Fehling, C. Geisenhanslüke), Kassel, Germany September 13-15 2004, 265-272 (2004)

Dipl.-Ing. Kerstin Wassmann, Thomas Batlogg Schnellzement für besondere Anwendungen – Holcim 104

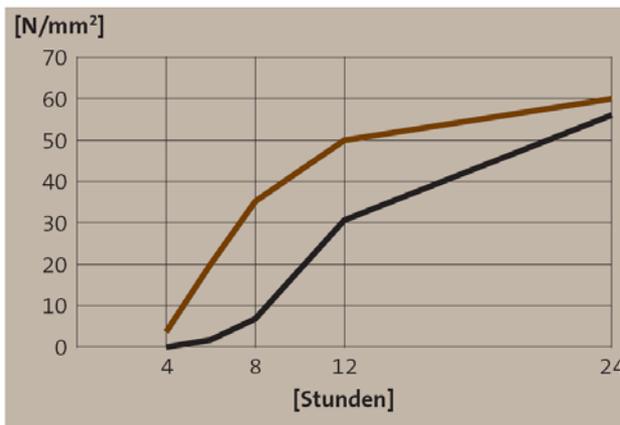
Einleitung

In speziellen Bereichen der Bauindustrie, insbesondere in der Vorfertigung, werden immer wieder sehr hohe Festigkeiten bereits in jungem Betonalter gewünscht. Diese liegen deutlich über den mit normalen Portlandzementen der Festigkeitsklasse 52.5 R im Beton erreichbaren Werten. Nur über eine kostenintensive Erhöhung der Betontemperatur in Form von Warmbeton, beheizten Schaltischen oder gar Bedampfen von Elementen, konnten bisher die gewünschten Frühfestigkeiten erreicht werden.

Die Holcim (Schweiz) AG hat infolge dieser Nachfrage den Schnellzement Holcim 104 entwickelt, der neben den normativen Eigenschaften hoher Festigkeit und Dauerhaftigkeit zusätzlich eine besonders hohe Frühfestigkeit aufweist (Bild 1).

Eigenschaften des Holcim 104

Bild 1:



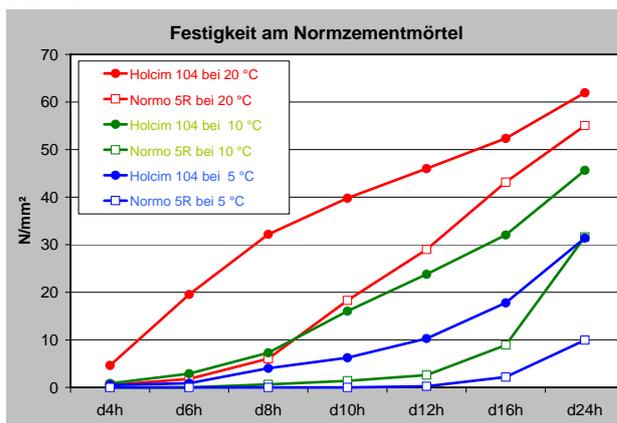
Druckfestigkeit bis 24 Stunden an Beton mit Holcim 104 und einem üblichen Portlandzement CEM I 52,5 R

Betonzusammensetzung

Zement 390 kg/m³
 Fließmittel 1,1% (auf PCE-Basis)
 w/z-Wert 0,4
 Normlagerung bei 20 °C

— Holcim 104
 — CEM I 52,5R

Bild 2:



Temperaturabhängigkeit der Zementmörteldruckfestigkeit mit Holcim 104 (CEM I 52.5 R) und einem normalen Portlandzement (CEM I 52.5 R)

Praktische Anwendung von Holcim 104 bei Ammann Bau

Nach erfolgreicher Einführung in mehreren Elementwerken im Süddeutschen und Schweizer Marktgebiet wurde im Winter 2008/9 der Schnellzement Holcim 104 der Firma Ammannbau in Nenzing vorgestellt. Die Fa. Ammann Bau betreibt neben dem klassischen Hoch- und Tiefbau ein Betonfertigteilwerk, in dem konstruktive Bauteile wie Stützen, Träger, Fassadenplatten sowie Kleinteilen wie Brunnen, Treppen und Podeste hergestellt werden. Da das Werk keine Möglichkeit zur Beheizung der Werkhalle hat, sind die erforderlichen Ausschalfestigkeiten (16 N/mm² nach ca. 16 Stunden) bei kühlen Temperaturen im Winter nur über die kostenintensive Beheizung von Beton und Schalungen zu erreichen.

Im November 2008 wurden verschiedene Versuche zur Verwendung des Schnellzementes Holcim 104 durchgeführt, um das optimale Zement- und Betondesign zu ermitteln. Dazu wurde der Schnellzement Holcim 104 mit dem im Werk verwendeten Portlandhüttenzement in verschiedenen Anteilen gemischt. Die Auswertung der gesammelten Erfahrungen ergab, mit welchem Gemisch von Holcim 104 (CEM I 52.5R) und Provato 4R (CEM II/A-S 42.5 R) am besten die gewünschten Ausschalfrieten nach 15 bis 16 Stunden unter den verschiedenen gegebenen Beton- und Hallentemperaturen erfüllt werden konnten. Somit kann Ammannbau zuverlässig und wirtschaftlich die Ausschalfestigkeiten im Jahreszeitenverlauf sicherstellen.

Bild 3: Betonblöcke 160 x 80 x 80 cm mit Holcim 104



Für höhere Anforderungen, etwa die bei einer doppelten Belegung der Schalung pro Tag verkürzte Ausschalffrist von ca. 8 Stunden, sind mehrere Bedingungen gleichzeitig zu erfüllen. So wird ausschließlich Holcim 104 als Zement eingesetzt, die Betontemperatur auf mindestens 20 °C erwärmt und ein Wasserzementwert von maximal 0,40 eingestellt. Der Beton wird in vorgewärmte Schalungen eingebracht und nach dem Einbringen vor Auskühlung geschützt. Mit dieser Verfahrensweise konnte bereits ein Auftrag mit extrem kurzen Lieferfristen erfolgreich realisiert werden.

Zusammenfassung

Der Schnellzement Holcim 104 eröffnet im Bereich der Fertigteilindustrie und anderen Bereichen mit hohen geforderten Frühfestigkeiten ganz neue Möglichkeiten zur Vereinfachung und Beschleunigung der Produktionsprozesse. So wird Holcim 104 überall dort eingesetzt, wo Geschwindigkeit gefragt ist. Die Zeiten für das Entschalen und Abheben lassen sich um bis zu 50% reduzieren; bereits nach 4 Stunden sind die betonierten Teile transportfähig. Die Hydrationswärme und das rasche Erhärtungsverhalten ermöglichen eine Reduktion der Temperatur in der Heizkammer. Mit maßgeschneiderten Betonkonzepten können die Festigkeiten und deren Zeitpunkt gezielt bestimmt werden. Die Dauerhaftigkeit wurde in Bezug auf Permeabilität, Chlorideindringwiderstand und Wasserleitfähigkeit geprüft und konnte im Vergleich zu einem normalen Portlandzement gleicher Festigkeitsklasse bestätigt und teilweise noch überboten werden. Gleiches gilt für die Karbonatisierung. So kann auch mit der oft dünnwandigen Fertigteilbauweise eine hohe Dauerhaftigkeit sichergestellt werden.

Verfasser:

Dipl.-Ing. Kerstin Wassmann
Holcim (Schweiz) AG

Thomas Batlogg
Holcim (Vorarlberg) GmbH

Kornzusammensetzung des Mehlkorns

Notwendigkeit der Ermittlung und Einfluss der Bestimmungsmethode auf das Ergebnis

Dipl.-Ing. Dr. Eva-Katharina FISCHBÖCK, Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Peter NISCHER

1) Einleitung und Problemstellung

Wegen der Wichtigkeit der Kornzusammensetzung für die Verarbeitbarkeit und die Betoneigenschaften enthalten die meisten nationalen Betonnormen [z.B 1] Angaben über den „günstigen“ und „brauchbaren“ Sieblinienbereich. Die Kornzusammensetzung beeinflusst die Packungsdichte und damit den Hohlraumgehalt. Zur Verringerung des Hohlraumgehaltes muss das Schlupfkorn (das kleinere Korn, das zwischen dem jeweils größeren Platz findet) in entsprechender Menge, Kornform und Kornverteilung vorhanden sein (Abbildung 1).

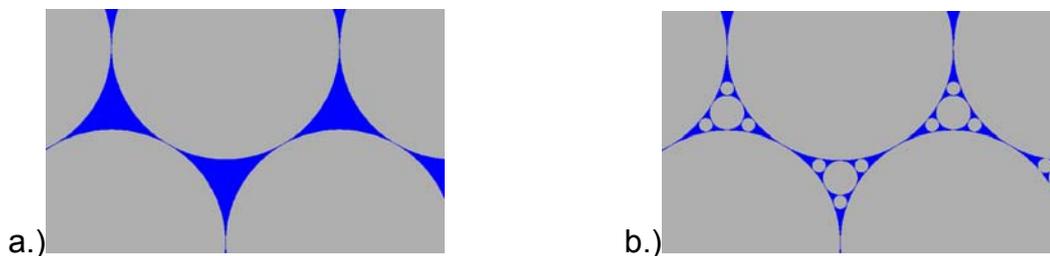


Abb 1: Hohlraum ohne (a.) und mit (b.) Schlupfkorn

Den Einfluss einer hohen Packungsdichte auf die Eigenschaften von Beton erkannten schon Fuller und Thomson im Jahre 1907 [2]. Aus deren experimentellen Untersuchungen stammt die so genannte „Fuller-Kurve“, eine quadratische Parabel, die für einen stetigen Verlauf der Korngrößenverteilung bei runden Körnern (Kugeln), einem begrenzten Mehlkornanteil und den in der Betontechnologie eingesetzten Methoden der Verdichtung die optimale Packungsdichte ergibt.

$$D_i = \left(\frac{d_i}{d_{\max}} \right)^n \quad \text{Gleichung 1}$$

Mit.

D_i = kumulativer Anteil der Korndicke d_i

d_{\max} = maximale Korndicke

n = Verteilungsmodul; 0,50 für Kugeln [2]

Die experimentell ermittelte Fuller-Kurve stellt einen Spezialfall der auf Simulationen basierenden Dinger-Funk-Gleichung dar, die z.B. im Bereich der Keramik für die Bestimmung der optimalen Packungsdichte eingesetzt wird [3].

$$D = \frac{d^n - d_{\min}^n}{d_{\max}^n - d_{\min}^n} \cdot 100\% \quad \text{Gleichung 2}$$

Berechnungen haben gezeigt, dass diese Gleichung eine optimale Packungsdichte bei einem Verteilungsmodul von $n = 0,37$ ergibt [3]. Bei Korngemischen, die aus unregelmäßig geformten Körnern bestehen, ist ein niedrigerer Wert für den Verteilungsmodul zu verwenden, um eine ideale Packungsdichte zu erreichen [4].

Diese Erkenntnisse decken sich mit Untersuchungen aus der Betontechnologie, wonach für die Berechnung der idealen Packungsdichte für Körner mit einem Kornindex von größer gleich 1,5 in der Formel nach Fuller $n = 0,35$ gewählt werden muss. Für Mehlkorn mit einem Kornindex von etwa 1,3 wird ein Verteilungsmodul von 0,40 benötigt [5].

In Abbildung 2 ist die Soll-Sieblinie gerechnet mit $n = 0,35$ für Körnungen GK 22 und die Ist-Sieblinie von einem Korngemisch B22 mit 300 kg Mehlkorn und günstiger Kornzusammensetzung gezeigt.

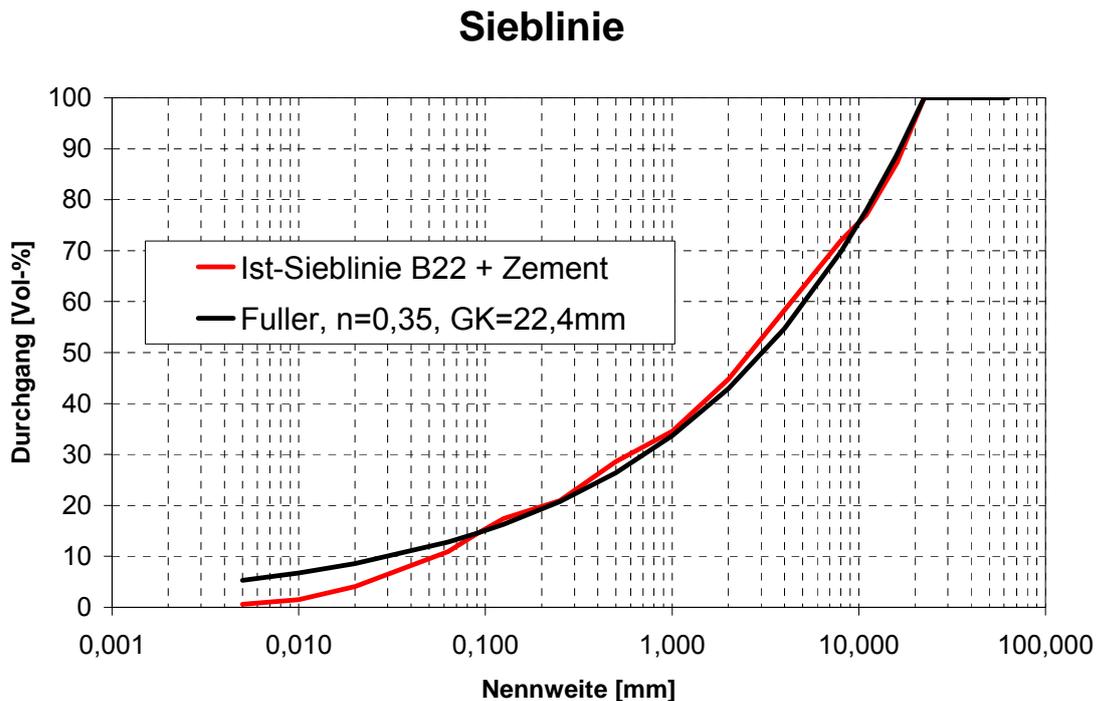


Abb 2: Soll-Sieblinie gerechnet mit $n = 0,35$ für Körnungen GK 22 und Ist-Sieblinie von einem Korngemisch B22 mit 300 kg Mehlkorn mit günstiger Kornzusammensetzung

Die Bestimmung der tatsächlichen Kornzusammensetzung des Mehlkorns (Anteil < 0,125 mm) ist schwierig, weshalb meist Angaben über eine zweckmäßige Kornzusammensetzung des Betons im Mehlkornbereich fehlen. Aus der Praxis ist jedoch bekannt, dass gerade diese Bestandteile den Wasseranspruch, die Verarbeitbarkeit und die Festbetoneigenschaften entscheidend beeinflussen [5].

Durch eine gezielte Auswahl des Mehlkorns kann die Packungsdichte erhöht und damit der verbleibende Hohlraum verringert werden. Obwohl die Oberfläche des Korngemisches meist zunimmt, nimmt der Wasseranspruch bei einem optimierten Mehlkorn im Allgemeinen ab. Wenn mehr Feinteile zugegeben werden als zum optimalen Füllen der Hohlräume erforderlich ist, oder wenn besonders feines Korn mit einer sehr großen Oberfläche (z.B. Mikrosilica) zugegeben wird, kann der Wasseranspruch wieder steigen. Beton, der für die erforderliche Verarbeitbarkeit mehr Wasser und/oder Fließmittel benötigt als einer mit für die Praxis optimiertem Mehlkorn, weist eine schlechtere Verarbeitbarkeit und Stabilität des Frischbetons auf. Ansätze zur Optimierung des Mehlkorns sind in Abbildung 3 dargestellt, wobei nicht nur die mit $n= 0,40$ errechnete optimale Kornverteilung für Mehlkorn nach Fuller

sondern auch die auf Grund praktischer Erfahrungen im Bereich $\leq 0,02$ mm verringerten Kornanteile ermittelt mit FPIA gezeigt werden.

Soll-Kornzusammensetzung Mehlkorn

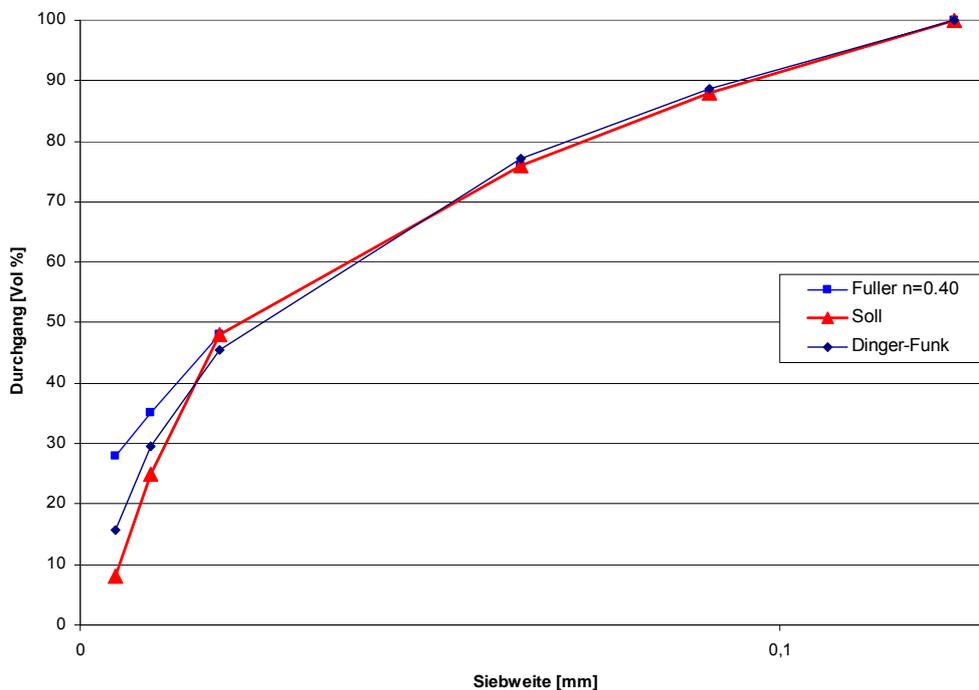


Abb 3. Optimale Kornverteilung von Mehlkorn (gemäß Fuller berechnete Werte, laut Praxiserfahrung zweckmäßige Werte bei Ermittlung mit FPIA und Werte berechnet gemäß Dinger-Funk)

In der Abbildung ist ebenso die mithilfe der Dinger-Funk-Gleichung berechnete Kornverteilung dargestellt. Diese stimmt mit der experimentell bestimmten Soll-Sieblinie vor allem in Bereich sehr kleiner Korngrößen sehr gut überein.

Um Optimierungen der Kornverteilung durchzuführen, ist es notwendig, die Kornverteilung des Mehlkornes genau zu bestimmen, weshalb vergleichende Untersuchungen mit verschiedenen Verfahren zur Ermittlung der Korngrößenverteilung des Mehlkornes durchgeführt wurden.

2) Mit verschiedenen Bestimmungsmethoden ermittelte Kornzusammensetzung von Mehlkorn

Im Rahmen eines von der FFG geförderten Forschungsprojektes [6], wurde die Kornverteilung von 19 verschiedenen Mehlkornen mit 3 verschiedenen Bestimmungsmethoden ermittelt. Das Ergebnis ist in Abbildung 4 dargestellt.

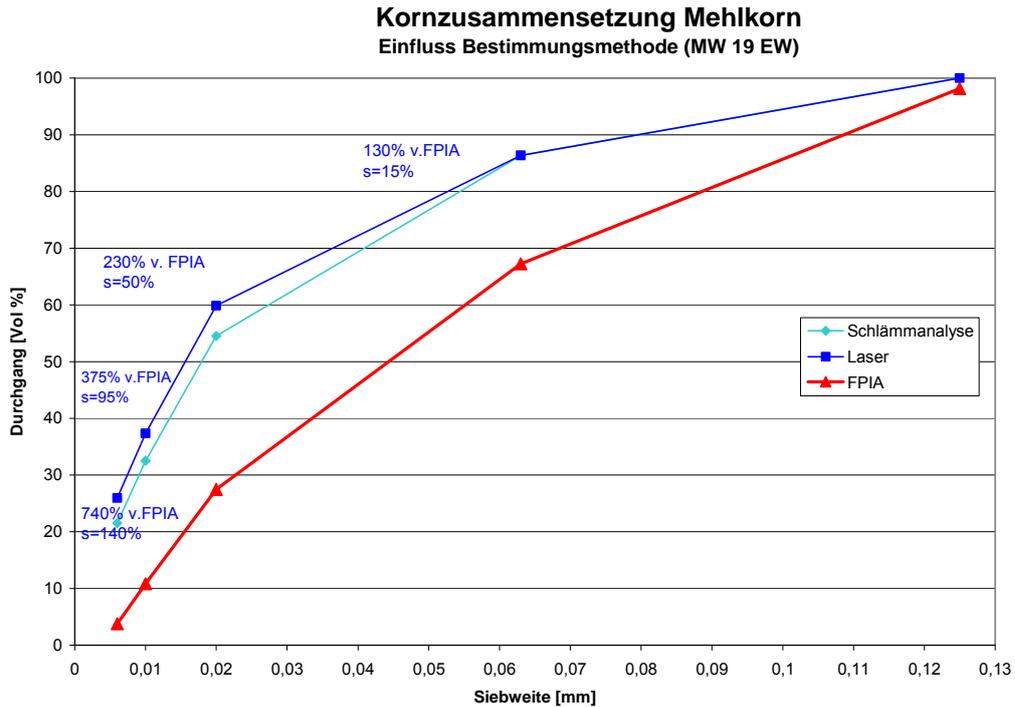


Abb 4: Kornzusammensetzung von Mehlkorn ermittelt mit FPIA, Laser und Sedimentationsanalyse

Wie aus der Abbildung ersichtlich ist, liefern die drei Bestimmungsmethoden unterschiedliche Ergebnisse. Der Einfluss der Bestimmungsmethode ist umso größer je kleiner das ermittelte Korn ist. (Abbildung 5).

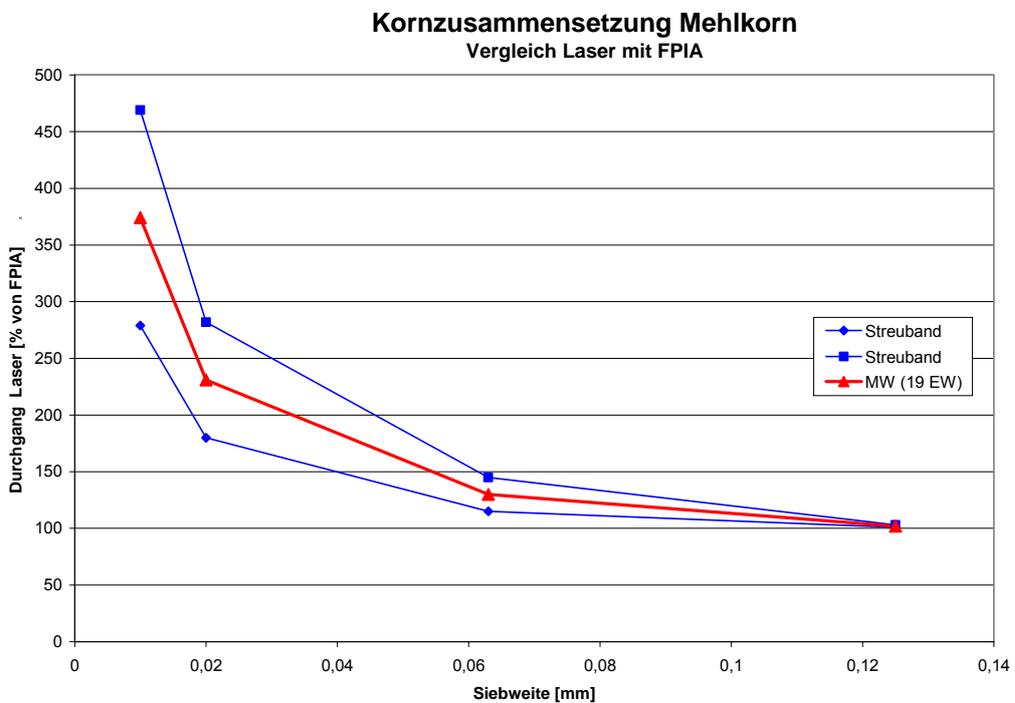


Abb 5: Kornzusammensetzung des Mehlkorns. Vergleich der mit Laser erhaltenen Ergebnisse mit den mit FPIA ermittelten Ergebnisse.

Gemäß Abbildung 2 entspricht die mit FPIA ermittelte Kornzusammensetzung von in der Praxis als günstig beurteiltem Mehlkorn mit der lt. Theorie optimalen Kornzusammensetzung gut überein. Wenn die Ermittlung nicht mit FPIA erfolgt ist daher eine Berechnung der optimalen Kornzusammensetzung des Mehlkorns mit einem Verteilungsmodul von $n = 0,40$, wie er sich aus theoretischen und praktischen Erkenntnissen ergibt, nicht möglich. Aushilfsweise wäre in diesem Fall auf Grund vorliegender Ergebnisse gemäß Abbildung 4 mit $n = 0,1$ zu rechnen.

3) Theoretische Basis der verschiedenen Bestimmungsmethoden und qualitative Erklärungsansätze für die abweichenden Ergebnisse

3.1) Problemstellung

Mit feiner werdender Korngröße kann die üblicherweise eingesetzte Siebanalyse zur Bestimmung der Korngrößenverteilung nur eingeschränkt angewandt werden. Grund dafür sind Verstaubungsverluste und die aufgrund der hohen spezifischen Oberfläche wirksamen Oberflächenkräfte, die zu Agglomerationen führen. Daher existieren andere Verfahren zur Bestimmung der Korngröße, die im Wesentlichen in zwei Gruppen eingeteilt werden können:

i. Methoden zur indirekten Bestimmung der Korngröße .

ii. Methoden zur direkten Bestimmung der Kornabmessungen

Bei den Verfahren zur indirekten Bestimmung der Korngröße macht man sich messbare physikalische Größen zu Nutze, die in einem funktionellen Zusammenhang zur Korngröße stehen. Dazu zählen etwa die Beugung von Laserlicht bei der Lasergranulometrie, die Sinkgeschwindigkeit von Körnern bei der Schlämmanalyse oder die Dämpfung eines Ultraschallsignales bei akustischen Spektrometern. Die Korngröße wird bei diesen Verfahren aus den Messgrößen berechnet, wobei diesen Berechnungen vereinfachte Annahmen zugrunde liegen (z.B. Annahme von runden, glatten Körnern bzw. Korngemischen mit einheitlichem Brechungsindex oder Dichte).

Bei den Verfahren in der zweiten Gruppe werden die Abmessungen der Körner ähnlich wie bei der Siebanalyse direkt bestimmt. Zu ihnen zählen etwa der im Rahmen dieser Untersuchungen verwendete FPIA oder auf der Auswertung von Schattenbildern beruhende Geräte.

Im Folgenden sollen die Grundlagen ausgewählter Messverfahren dargestellt und qualitative Erklärungsansätze für auftretende Unterschiede gegeben werden.

3.2) Methoden zur indirekten Bestimmung der Korngröße

3.2.1) Schlämmanalyse

Die Grundlage der Schlämmanalyse ist die Abhängigkeit der Endfallgeschwindigkeit eines Partikels in einem Fluid von der Korngröße. Nur bei laminaren Verhältnissen kann diese mit der Stoke'schen Kraft berechnet werden:

$$v = \frac{1}{18} \cdot \frac{\Delta\rho}{\eta_F} \cdot d^2$$

Gleichung 3

Mit

v Endfallgeschwindigkeit

$\Delta\rho$ Dichtedifferenz zwischen Probe und Messfluid

η_F Viskosität des Fluids
 d Partikeldurchmesser

Aus der gemessenen Endfallgeschwindigkeit kann ein Partikeldurchmesser bestimmt werden. Die Berechnung setzt glatte, runde Kugeln voraus. Der so bestimmte Durchmesser stellt einen Äquivalenzdurchmesser von Körnern gleicher Endfallgeschwindigkeit dar.

Man unterscheidet zwischen dem laminaren, dem Übergangsbereich und dem turbulenten Strömungsbereich. Welcher dieser Bereiche vorherrschend ist, wird durch die Reynoldszahl festgelegt, die direkt proportional zum Korndurchmesser d , zur Korndichte ρ und der Geschwindigkeit v und indirekt proportional zur Viskosität der Messflüssigkeit η ist (Gleichung 4). Der laminare Bereich wird durch eine Reynoldszahl von ca. 2300 begrenzt.

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta} \quad \text{Gleichung 4}$$

Bei der Korngrößenanalyse im Feinstkornbereich herrschen üblicherweise laminare Verhältnisse – vorausgesetzt es liegen hinreichend glatte Partikel vor. Rauigkeit fördert die Ablösung der Strömung von der Kugel und Wirbelbildung, sodass man mit zunehmender Kornrauigkeit immer weiter in den turbulenten Bereich vorrückt (siehe Abbildung 6).

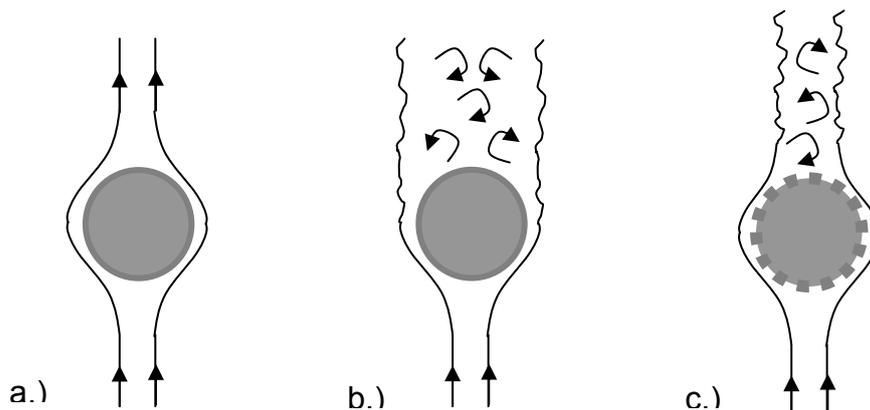


Abb. 6: a.) Laminare Umströmung eines Korns; b.) Umströmungsverhältnisse im Übergangsbereich; c.) Turbulente Umströmung eines rauhen Korns

Der Strömungswiderstand ist im laminaren Bereich sehr gering, da es zu keiner Vermischung der einzelnen Flüssigkeitsschichten kommt. Im Übergangsbereich kommt es zu einer Ausbildung einer sehr hohen Widerstandskraft, da sich die Grenzschicht nahe der größten Abmessung der Körner ablöst und ein großes Totvolumen hinter dem Korn vorherrschend ist. In dem Totvolumen befindet sich ein Unterdruck, wodurch eine Sogwirkung entsteht, die die Geschwindigkeit der Körner vermindert. Das Totvolumen und damit die Widerstandskraft nehmen im turbulenten Bereich wieder ab, da die Turbulenz die Ablösung der Grenzschicht verzögert. Bei Berechnung der Korngröße mit Gleichung 3 ergibt sich dadurch eine zu geringe Korngröße abhängig vom Strömungsbereich.

Dieser Effekt wird in verschiedenen Bereichen ausgenutzt. So führt die genarbte Fläche eines Golfballes dazu, dass es zu einer Verschiebung der Strömungsverhältnisse vom Übergangs- in den turbulenten Bereich kommt. Durch

den dadurch auftretenden geringeren Strömungswiderstand zeigen Golfbälle eine deutlich größere Reichweite als sonst gleiche Bälle mit glatter Oberfläche.

Gelangt man in Größenbereich von sehr kleinen Körnern, so stößt man auf weitere Einflussparameter. Wenn die Korngröße der Partikel in den Größenbereich der mittleren freien Weglänge der Moleküle des Messfluids kommt, wird die Fallbewegung durch die Fluidmoleküle gestört. Dies ist in Luft ab etwa $1\ \mu\text{m}$ der Fall. Als Messergebnis erhält man so zu geringe Korngrößen.

Auch die Konzentration der Suspension spielt eine große Rolle bei der Messung. Ist die Konzentration zu hoch, kommt es zu einer Beeinflussung der Teilchen gegenseitig, was in einer Abhängigkeit der Korngröße von der Konzentration resultiert.

3.2.2) Lasergranulometrie

Die Bestimmung der Korngrößenverteilung mit dem Laser-Particle-Sizer (LPS) beruht auf der Beugung von Laserlicht. Der Beugungswinkel des durch die Körner abgelenkten Laserstrahles ist indirekt proportional zur Korngröße (Abbildung 7).

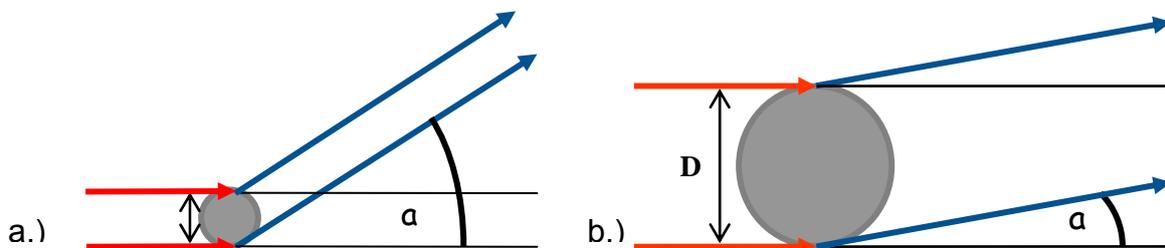


Abb. 7: Abhängigkeit des Beugungswinkels von der Korngröße

Bei Messungen von Kornhaufwerken entstehen durch Interferenzerscheinungen Beugungsmuster, aus denen mithilfe mathematischer Theorien die Korngrößenverteilung rückgerechnet werden kann. Die im Baustoffbereich am häufigsten eingesetzte Theorie nach Fraunhofer basiert auf der Annahme glatter, runder und opaker (d.h. lichtundurchlässiger) Körner.

Treten in der Praxis Abweichungen von diesen Annahmen ein, so kommt es zu Diskrepanzen der Messergebnisse im Vergleich zu anderen Methoden. Dies soll am Beispiel unregelmäßig geformten Körnern qualitativ anhand folgender Skizze erläutert werden (Abbildung 8).

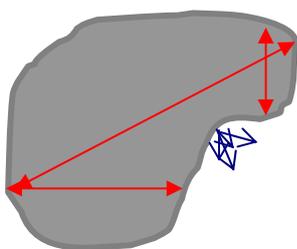


Abb. 8: Messung eines unregelmäßigen Kornes; Erfassungen von verschiedenen Teilrundungen abhängig von der Lage des Kornes zum Laserstrahl (rote Pfeile) und Streueffekte (blaue Pfeile)

Je nach Lage der Körner relativ zum Laserstrahl ist es möglich, dass nur Teilrundungen für die Messung erfasst werden und so zu geringe Korngrößen ermittelt werden. Darüber hinaus führen Rauigkeiten und Kanten der Körner zu Streulicht, welches die Intensität und die Lage des Beugungsmusters verändern und somit die berechnete Korngrößenverteilung beeinflussen. Bei der Auswertemethode nach Fraunhofer werden Streu- und Absorptionseffekte nicht berücksichtigt. Dies spielt vor allem bei sehr feinen Körnern eine Rolle, die in die Größenordnung der Wellenlänge des verwendeten Laserlichtes gelangen – im Falle eines roten Lasers also in Bereichen um etwa 0,6 µm.

Neben Abweichungen von der idealen Kugelform der zu messenden Partikel kann auch die Forderung nach opaken Körnern im Bereich der hydraulischen Bindemittel oft nicht erfüllt werden. Als Beispiel wäre hier die Verwendung von Hüttensand als Bestandteil des Zementes zu nennen. Hüttensand zählt aufgrund seines glasigen Charakters, der zum Erreichen von latent hydraulischen Eigenschaften notwendig ist, nicht zu den opaken Mineralphasen.

Durch die Beispiele soll verdeutlicht werden, dass häufig jene Annahmen, auf denen die Rückrechnung der Korngrößenverteilung aus den Beugungsmustern basiert, in der Praxis nicht erfüllt sind. Daher ist die Methode des LPS eher zu qualitativen Vergleichen als zu absoluten Aussagen für die Berechnung von Korngrößenverteilung zur Erzielung idealer Packungsdichten geeignet. Werden die Ergebnisse dennoch dafür verwendet, so muss beachtet werden, dass sich andere Gesetzmäßigkeiten im Vergleich zu Siebanalysen im Grobkornbereich ergeben können.

3.3) Methoden zur direkten Bestimmung der Kornabmessungen

3.3.1) Fotooptische Verfahren

Bei fotooptischen Verfahren wie dem Flow-Particle-Image-Analyzer (FPIA) werden mit einer hochauflösenden CCD-Kamera Fotos von der suspendierten Probe aufgenommen (Abbildung 9). Dabei wird das Korn an der Optik des Gerätes so vorbeigeführt, dass stets die größtmögliche Abbildungsfläche erfasst wird.

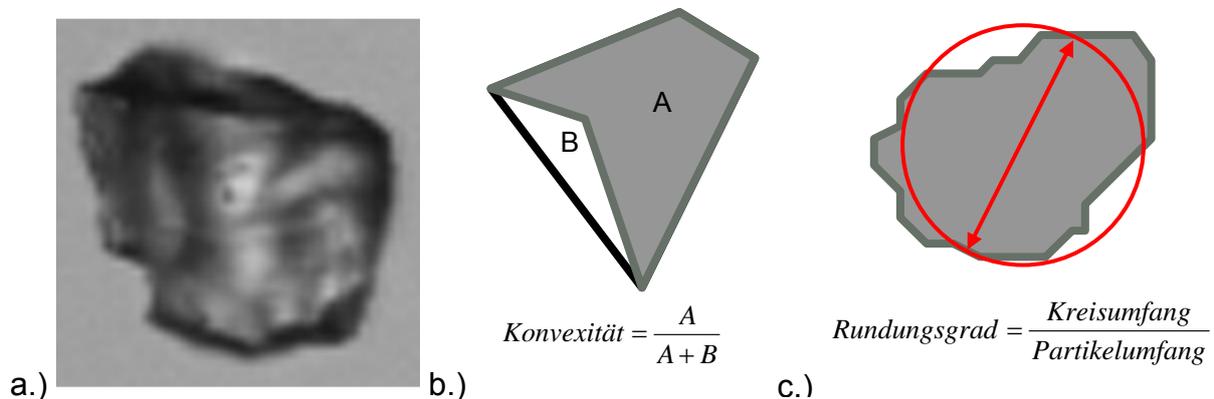


Abb. 9: a.) Bild eines fotografierten Kornes; b.) Bestimmung der Konvexität; c.) Bestimmung des Rundungsgrades

Anhand der Fotos werden die Körner vermessen und daraus Parameter der Korngröße und Kornform bestimmt (Durchmesser, massespezifische Oberfläche, Verhältnis Länge/Breite, Rundungsgrad, Konvexität). Für ein repräsentatives

Ergebnis ist es notwendig, die gesamte aufgeschlämmte Probe zu vermessen, was etwa 2 Millionen Körnern entspricht.

Im Gegensatz zu den bereits genannten Methoden werden die tatsächlichen Abmessungen der Körner ermittelt. Wird für die Bestimmung der Korngrößenverteilung der kleinste Durchmesser zur Auswertung herangezogen, entsprechen diese Ergebnisse jenen aus Siebanalysen. Die Ergebnisse sind daher für eine Berechnung der optimalen Korngrößenverteilung [3] geeignet. Mit dem FPIA können Messungen in Korngrößenbereichen zwischen ca. 0,5 und 200µm durchgeführt werden.

4) Qualitativer Nachweis für die Unterschiede in den Messergebnissen

Aufgrund theoretischer Überlegungen sind die in Abschnitt 2 gezeigten Unterschiede zwischen dem fotooptischen Verfahren mit direkter Vermessung der Einzelkörner und den auf physikalischen Gesetzen beruhenden Messverfahren (Schlämmanalyse, Lasergranulometrie) in den Messergebnissen bei der Bestimmung der Korngröße im Feinstkornbereich ($< 125\mu\text{m}$) plausibel erklärbar. Einerseits sind sie auf die Tatsache zurückzuführen, dass Äquivalenzdurchmesser aus völlig unterschiedlichen physikalischen Messgrößen berechnet werden. Diese führen nur im Idealfall runder Kugeln zum gleichen Ergebnis. Andererseits resultieren die zunehmenden Abweichungen mit kleiner werdender Korngröße aus Phänomenen, die besonders bei rauen Körnern auftreten, mit größerer Feinheit stärker zu tragen kommen und kleinere Durchmesser vortäuschen. Dies ist bei der Bewertung von Messergebnissen zu berücksichtigen.

Als vorteilhaft zeigt sich die Bestimmung der Korngrößenverteilung mit fotooptischen Verfahren. Sie ermöglichen eine problemlose Messung von unregelmäßigen bzw. rauen Körnern und liefern neben der Korngrößenverteilung auch Aussagen zur Kornform der Partikel. Außerdem sind die Formeln zur Berechnung der optimalen Kornverteilung auch im Mehlkornbereich ohne Einschränkungen anwendbar.

Literatur

[1] ÖNORM B 4710-1: Beton Teil1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis (Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206-1 für Normal- und Schwerbeton. 2007 ON Österreichisches Normungsinstitut

[2] Fuller, W.B; Thomson. S.: The laws of proportioning concrete. American Society of Civil Engineers 33 (1907) S. 223-298

[3] Dinger, D.R.: Particle Packing and Pore Size Distributions. Ceramic Processing E-zine. 1/9 (2003)

[4] Walker, W.J.: Persistence of Granular Structure during Compaction Processes. Kona 21 (2003) S. 133-142

[5] Macht,J; Nischer,P.: Mehlkornoptimierung – Notwendigkeit und Möglichkeiten zur Ermittlung der Korneigenschaften. BFT Heft 4 2006

[6] Weiche Betone für schwierige Einbaubedingungen, FFG Projekt 812871

Zement+PCE für unterschiedliche Betonieraufgaben

Erfahrungen bei der Auswahl geeigneter Fließmittel für weiche bis fließfähige Betone

DI Peter CHRISTLMEIER, DI Michael HARTMAIER
Südbayerisches Portland-Zementwerk, Rohrdorf

Das Zusammenwirken von Zement (CEM) und Fließmittel (FM) auf Basis von Polycarboxylat (PCE) ist sehr komplex im Hinblick auf die daraus resultierenden Frisch- und Festbetoneigenschaften. Es wird von vielen unterschiedlichen Parametern und deren Schwankungsbreite wesentlich beeinflusst: Klinkerchemie, Zusammensetzung der Porenlösung im Beton, Art und Menge von Zuschlägen zum Zementklinker und von Zusatzstoffen im Beton, Feinstanteil der Gesteinskörnung, Art und Molekülstruktur des PCE, Frischbetontemperatur etc.

Polycarboxylate lassen sich durch Veränderung der Haupt- und Seitenkettenlängen sowie durch Abmischung unterschiedlicher Polymere in ihrer Wirkungsweise sehr vielfältig variieren (Beitrag G. Haiden, Betontechnik GmbH, Langenwang).

In der Baupraxis treffen unter einem Oberbegriff PCE eine Vielzahl verschiedener Polycarboxylat-FM mit unterschiedlichsten Eigenschaften auf eine große Anzahl Zemente und Zusatzstoffe unterschiedlicher Zusammensetzung. Der Betonhersteller vor Ort ist ohne fachkundige Unterstützung bei der Auswahl geeigneter Fließmittel für seine jeweiligen Betonieraufgaben mit dieser Vielfalt an Kombinationsmöglichkeiten CEM+PCE und deren Auswirkungen meist hoffnungslos überfordert.

Das Südbayerische Portland-Zementwerk hat in Zusammenarbeit mit namhaften Zusatzmittelherstellern im Herbst 2008 ein Programm gestartet, CEM+PCE-Kombinationen systematisch und praxisnah zu testen: 5 PCE-Lieferanten; 4 CEM-Sorten; je CEM-Sorte mehrere CEM-Chargen über 1 Jahr verteilt.

Geprüft werden:

- **Wirksamkeit** (erforderliche PCE-Dosierung für eine definierte Mörtelkonsistenz)
- **Konsistenzhaltung** (Verlauf Ausbreitungsmaß über 90 min.)
- **visuelle Mörtelbeurteilung** (Bluten, Entmischen, Kleben, Fließverhalten ...)
- **Festigkeitsentwicklung** nach 8, 10, 16, 26 Stunden, 28 Tagen

Die Konsistenzprüfung erfolgt mit einem speziell konzipierten Mörtel auf dem Haegermann-Tisch (AM ca. 240 mm); die Druckfestigkeit wird mit derselben Mörtelrezeptur an Prismen (wärmeisolierte Schalung) ermittelt.

Die Ergebnisse der Konsistenzprüfung an diesem Mörtel sind auf Beton gut übertragbar (Bild 1, 2). Die Prismen liefern einen rel. Festigkeitsvergleich zur Vorabschätzung des Erhärtungsverlaufs des Betons (langsam bis sehr schnell).

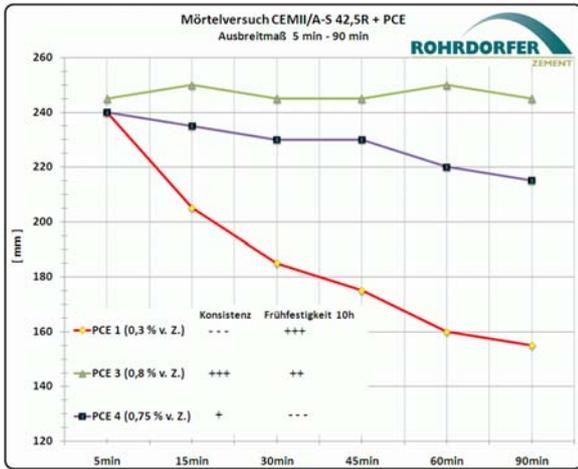


Bild 1

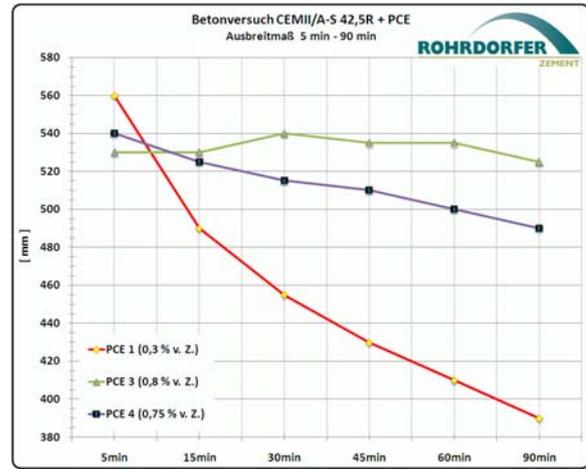


Bild 2

Frishbetonkonsistenz

Mit allen geprüften CEM+PCE-Kombinationen lassen sich weiche bis fließfähige Betone einstellen. Die Konsistenzhaltung über 90 min. variiert bei ein und derselben Zementsorte mit verschiedenen PCE jedoch teilweise sehr stark. Das reicht vom Verlust mehrerer Konsistenzklassen innerhalb von 45 min, über mehr oder weniger stark ausgeprägtes Rücksteifen, oder nahezu gleichbleibender Konsistenz über 90 min, bis zu ausgeprägter Nachverflüssigung über Stunden.

Verschiedene CEM+PCE-Kombinationen halten die Konsistenz mit allen Zementsorten über längere Zeit - oder sie steifen grundsätzlich vergleichbar zurück („robuste“ PCE). Andere Kombinationen zeigen dagegen bei verschiedenen Zementsorten aus demselben Klinker - teilweise sogar auch an unterschiedlichen Chargen derselben Zementsorte - deutliche Unterschiede im Konsistenzverlauf.

Mit den beschriebenen Mörtelprüfungen können für die jeweils erforderlichen Frishbetoneigenschaften aus der Vielzahl an Varianten sog. „robuste“ PCE für die untersuchten Bindemittel und ggf. Zusatzstoffe herausgefiltert werden. Diese ausgewählten „robusten“ PCE bewähren sich im Praxiseinsatz, d. h. die Betone zeigen mit diesen PCE auch bei den üblichen Produktionsschwankungen im Betonwerk am Frishbeton einen vorhersehbaren Konsistenzverlauf. Die am Mörtel ermittelte Dosiermenge gibt einen ersten Anhaltswert bzgl. der Wirksamkeit (Wirtschaftlichkeit) des geprüften PCE.

Festigkeitsentwicklung

„Frühhochfeste“ CEM+PCE-Kombinationen erreichen bei 20°C mit der gewählten Mörtelzusammensetzung bereits nach 10 Std. Festigkeitswerte, die „langsame“ PCE erst im Alter von 16 Stunden aufweisen. Nach ca. einem Tag gleicht sich die Festigkeitsentwicklung aller Kombinationen mit wenigen Ausnahmen weitgehend an (BILD 3). Alle PCE im Prüfprogramm verhalten sich bei den verschiedenen Zementsorten bzgl. der Beeinflussung der Frühfestigkeiten im rel. Vergleich ähnlich.

Bei vielen PCE ist eine Tendenz erkennbar - eine gute Konsistenzhaltung hat eine langsame Frühfestigkeitsentwicklung zur Folge. Dagegen bedeutet schnelles Rücksteifen nicht immer auch eine hohe Frühfestigkeit.

Nur bei einer PCE-Produktgruppe in Versuchsprogramm wurden auch bei sehr guter Konsistenzhaltung bereits nach 10 Stunden immer hohe Festigkeitswerte erreicht.

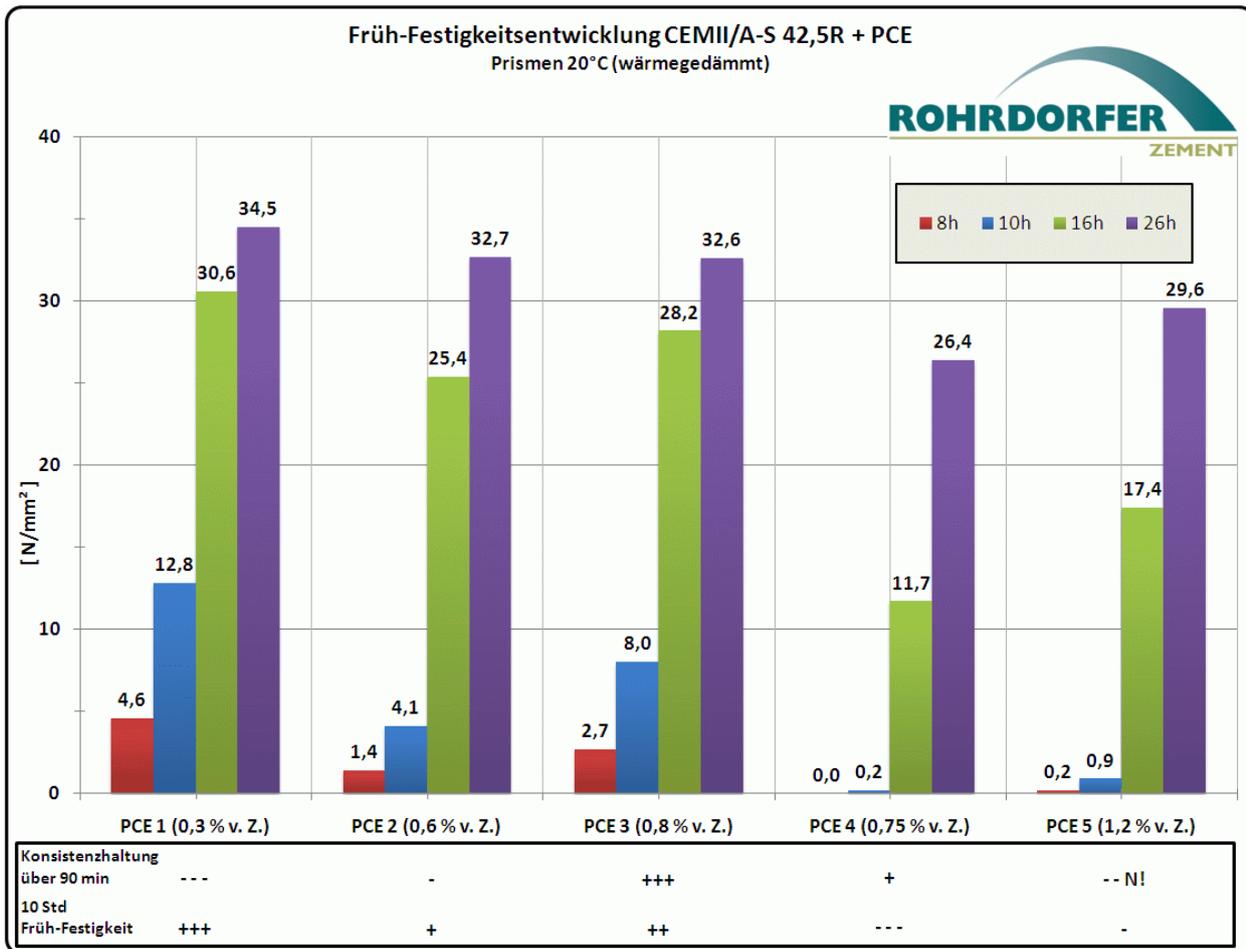


Bild 3

Der Einfluss unterschiedlicher PCE auf die Festigkeitsentwicklung des Betons ist auf den Zeitraum von 1 - max. 2 Tagen ab Betonherstellung begrenzt.

Bei hohen bis sehr hohen Frühfestigkeitsanforderungen kann die Auswahl eines „schnellen“ PCE erhebliche Vorteile bringen. Die Steigerung der Frühfestigkeit kann allein durch die Auswahl eines geeigneten PCE ähnlich hoch ausfallen wie durch einen Wechsel von Normal- auf Hochwertzement.

Erfahrungen

Unterschiedliche CEM-PCE-Kombinationen zeigen im Hinblick auf Wirksamkeit, Konsistenzhaltung und Frühfestigkeitsentwicklung von Beton große Unterschiede. Durch eine gezielte PCE-Auswahl kann die Konsistenzhaltung des Frischbetons über einen Zeitraum von 2 bis 3 Stunden zuverlässig gesteuert werden. Die Frühfestigkeitsentwicklung lässt sich durch den Einsatz geeigneter PCE bis zu einem Betonalter von 1 bis max. 2 Tagen wesentlich beeinflussen.

Für unterschiedliche Betonieraufgaben können geeignete „robuste“ CEM+PCE-Kombinationen mit Mörtelprüfverfahren aus einer Vielzahl an Produkten mit rel. geringem Aufwand zielsicher ausgewählt werden. Die Feinabstimmung kann aber immer nur am Beton mit allen vorgesehenen Ausgangsstoffen erfolgen.

Betoneinsparung im Tunnelbau mit ökologischem Gütesiegel

Dr. Karl-Jürgen Mann, Dr. Martin Kozich

Nach dem erfolgreichen Projekt „Einsatz von hochmodifizierten Stärkeether als Rückprallminderer und zur Staubreduktion bei der Verarbeitung von Spritzbeton“ konnte das Stärkeprodukt Amitrolit 8865 von AGRANA, einem Unternehmen der Südzucker-Gruppe, erfolgreich als Rückprallminderer am Markt platziert werden. Dieses innovative Betonadditiv wurde bereits an folgenden Tunnelbaustellen eingesetzt: Semmering-Tunnel, Tunnel Wald am Schoberpass, Tunnel Brixlegg, Tunnel Virgl und Trostburg auf der Südtiroler Brennerautobahn. Dabei konnte es durch seine Leistungsfähigkeit viele Anwender überzeugen.

Aufgrund des großen Erfolgs dieses Projekts musste die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR), eine große deutsche Förderstelle zur Etablierung nachwachsender Rohstoffe in verschiedensten industriellen Anwendungsbereichen, nicht lange von der Durchführung eines zweijährigen Folgeprojekts überzeugt werden. Gern war man bereit mit Südzucker, AGRANA und der Zuckerforschung Tulln *innovativen Projektpartnern, die aus einem Projekt heraus auch ein marktaugliches Produkt entwickeln konnten, weiterhin zu fördern und dieses Thema zu vertiefen.* Dieses Folgeprojekt befasst sich nun mit der Anwendung von Stärkeethern als Rückprallminderer im Nassspritzbeton (FKZ: 22011308) und wurde mit 1.Juni 2009 gestartet. Als Partner konnten für dieses Projekt einige hervorragende Firmen und Institutionen gewonnen werden. Das Fraunhofer Institut für angewandte Polymerforschung in Golm wird einen wichtigen Beitrag zur analytischen Charakterisierung neuartiger Stärkederivate liefern. Betontechnologische Begleitung ist durch die Fa. Betontechnik GmbH., die Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH (MFPA) Leipzig sowie durch die Universität Leipzig gegeben.

Zu Projektbeginn werden verschieden modifizierte Stärkederivate durch die Zuckerforschung Tulln entwickelt und hergestellt, die auf ihre Eignung als Betonadditiv geprüft werden. Dabei wird vor allem Augenmerk auf die Festigkeitsentwicklung des jungen Betons und die Konsistenzentwicklung gelegt. Da Stärkederivate üblicherweise als Verdicker in Trockenmörteln eingesetzt werden, ist die Verringerung der verdickenden Wirkung der wesentliche Bestandteil des ersten Projektjahres. Im Trockenspritzbeton ist diese Eigenschaft nicht so wichtig, da das Wasser erst an der Düse zugegeben wird. Beim Nassspritzbeton muss der Beton eine definierte Konsistenz zeigen und über einen längeren Zeitraum aufrecht erhalten. Parameter ist neben dem Modifizierungsgrad der Stärke natürlich auch noch die Einsatzmenge an Stärke, die sich im Trockenspritzbeton zwischen 0,1% und 0,2% bezogen auf Zement bewegt hat. Die Frühfestigkeitsentwicklung ist im Tunnelbau von entscheidender Bedeutung, weshalb auch diese Eigenschaft geprüft werden muss. Die Frisch- und Festbetonprüfungen werden durch die kompetente Mannschaft der Fa. Betontechnik übernommen.

An der MFPA Leipzig sind Spritzversuche geplant, bei denen die am besten geeigneten Stärken nach dem Screening des ersten Projektjahres eingesetzt werden sollen. Dabei kann auf verschiedenste Untergründe und sogar auf einen

Versuchsstollen zurückgegriffen werden. Natürlich wird auch hier die Festigkeitsentwicklung des Spritzbetons untersucht.

Eine vertiefende betontechnologische Untersuchung (Mikroanalytik) der Bestprodukte erfolgt anschließend an der Universität Leipzig. So wird beispielsweise die Hydratationskinetik mittels SEM-FEG/ESEM und Wärmeflusskalorimetrie untersucht. Weitere optionale Untersuchungsmethoden zur mikroanalytischen Charakterisierung sind TEM, XRD, EDX/WDX/Mikrosonde, 3D-XCT, MPI. Ein weiterer wesentlicher Bestandteil sind rheologische Untersuchungen am frischen Beton bzw. im Mörtel.

Am Projektende ist das Testen des Materials an einer großen Tunnelbaustelle durch ein namhaftes Bauunternehmen zugesagt.



Abbildung 1: Spritzversuche an der MFPA Leipzig an einem Versuchsstollen

Deckensystem aus Betonfertigteilen für eine flexible Gebäudeausrüstung

Andreas E. KAINZ University Assistant

Vienna University of Technology, Austria | akainz@pop.tuwien.ac.at

Um dem vermehrten Einsatz von Haustechnikanlagen in unseren Gebäuden ein angepasstes System zur Verfügung zu stellen, hat das Institut für Tragkonstruktionen der Technischen Universität Wien ein neues Deckensystem entwickelt. Bei diesem Deckensystem, der „Decke für Installationen“, werden die Installationsleitungen in der Tragkonstruktion untergebracht. Dabei kann die für die Unterbringung der Installationsleitungen erforderliche Höhe für die tragende Konstruktion genutzt, die Spannweite erhöht, und gleichzeitig die gesamte Deckenhöhe verringert werden [1].

Erreicht wird das Unterbringen der Lüftungs-, Klima-, Haustechnik- und Informationsleitungen durch die Aufgliederung der Tragstruktur in eine dünne, raumabschließende Stahlbetonplatte an der Deckenunterseite und fachwerkartige Stahlbetonrippen an der Oberseite. Im Bereich der großzügigen Rippenöffnungen können die Leitungen verlegt werden. Als Fußboden kann ein Doppelboden oder ein herkömmlicher Fußboden mit Revisionsöffnungen eingesetzt werden (Abbildung 1). Ein permanenter Zugang zu den Installationen ist somit jederzeit gegeben.

Bei der Decke für Installationen handelt es sich um eine biaxiale Tragstruktur, welche punktgestützte Deckenfelder von 10x10m bis 16x16m überspannt. Bei den 50-100cm hohen Tragkonstruktionen können 30-70cm der Höhe für die Installationsleitungen genutzt werden (Abbildung 2). Durch das geringe Eigengewicht von 500-600kg/m² eignet sich die Decke für Installationen für alle Bauwerke mit niedrigem und hohem Installationsaufkommen. Da die Installationshöhe für die Tragstruktur verwendet wird, kann bei gleicher Gesamthöhe die Spannweite um 50-100% vergrößert werden. Die Eigengewichtszunahme bei großen Spannweiten wird durch die aufgelöste Struktur umgangen. Mithilfe der großen Spannweiten sind Gebäude ohne Stützen im Bauwerksinneren möglich, was, zusätzlich zur permanenten Zugänglichkeit des Installationsraums, die Bauwerksnutzung auch zukünftig nicht einschränkt.

Um das neue Deckensystem einsetzen zu können, wurden bereits sehr früh Kooperationen mit den Fertigteilfirmen Katzenberger Beton- und Fertigteilwerke GmbH und Franz Oberndorfer GmbH & Co KG eingegangen. Das Deckensystem wurde als Halbfertigteildecke – ähnlich der Elementdecke – konzipiert. Die einzelnen Fertigteile (Abbildung 3) mit Abmessungen von 2,50m Breite und bis zu 16,00m Länge weisen eine 5cm dünne Stahlbetonplatte an der Deckenunterseite und die vollständig bewehrten Stahlbetonfachwerkrippen an der Oberseite auf. Auf der Baustelle wird auf der unteren Platte die Bewehrung in Fertigteilquerrichtung eingelegt und mittels einer 5cm dicke Ortbetonschicht erhält man eine monolithische Tragstruktur. Im Bereich der Rippen befinden sich Vergussrinnen. Durch die großformatigen und tragfähigen Fertigteile (bis zu 40m²/Fertigteil), gibt es nur an den Fertigteilenden eine Unterstellung. Die geringen und einfachen Bewehrungsarbeiten sowie der rasche Ortbetonverguss versprechen raschen Baufortschritt mit höchstem Qualitätsstandard. Durch die Kooperation mit der Firma Franz Oberndorfer konnte ein Herstellungsprozess für die Fertigteilproduktion entwickelt werden, sodass die Decke für Installationen für den Markt einsetzbar ist.

Neben der raschen und einfachen Herstellung auf der Baustelle zeichnet sich die Decke für Installationen durch die zukunftsorientierte Nutzungsmöglichkeit und ein höchstes Maß an Flexibilität aus, sodass der gesamte umbaute Raum permanent ohne große Aufwendungen neu strukturiert werden kann. Durch die aufgelöste Struktur können auch große Spannweiten ohne ein übermäßig hohes Eigengewicht realisiert werden. Durch die Materialeinsparung kommt es zu einer Halbierung der benötigten Ressourcen. Auch moderne Anforderungen, wie Kühldecken, lassen sich durch Integration im großformatigen Fertigteil bestens erfüllen und durch die in alle Richtungen mögliche Installationsführung ist auch ein zukünftig höheres Installationsaufkommen kein Problem.

Mit der Decke für Installationen erhält man die Möglichkeiten ein Haus für Generationen ohne großen Wertverfall herzustellen.

Danksagung

Die Autoren möchten sich für die exzellente Kooperation und finanzielle Unterstützung bei allen am Projekt beteiligten bedanken.

- Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft – FFG
- Katzenberger Beton und Fertigteilwerke GmbH
- Franz Oberndorfer GmbH
- Architektur Strobl

Referenz

[1] Kollegger, J., Kainz, A., und Burtscher, S. L. (2006). „Flächige Beton - Tragkonstruktion sowie Verfahren zur Herstellung derselben.“ Österreichisches Patent.

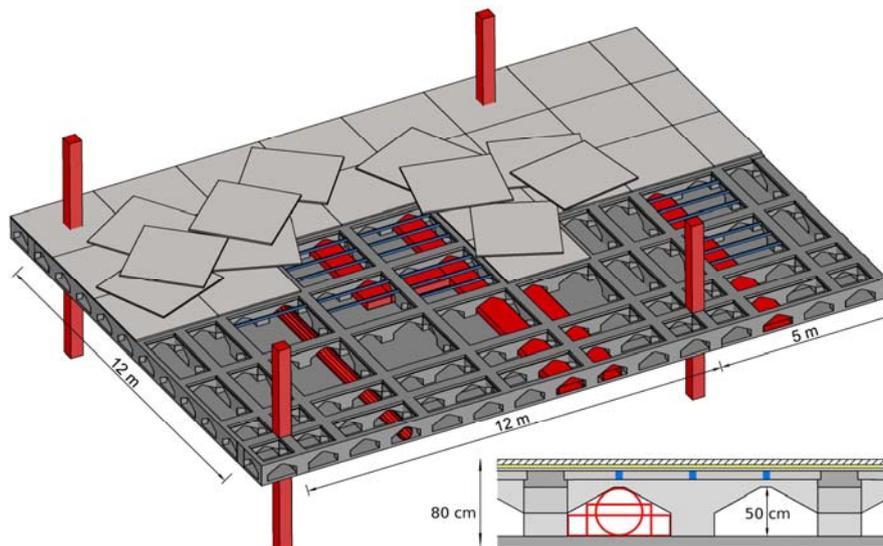


Abbildung 1: Decke für Installationen - die Idee



Abbildung 2: Rippenstruktur Decke für Installationen © Pez Hejduk

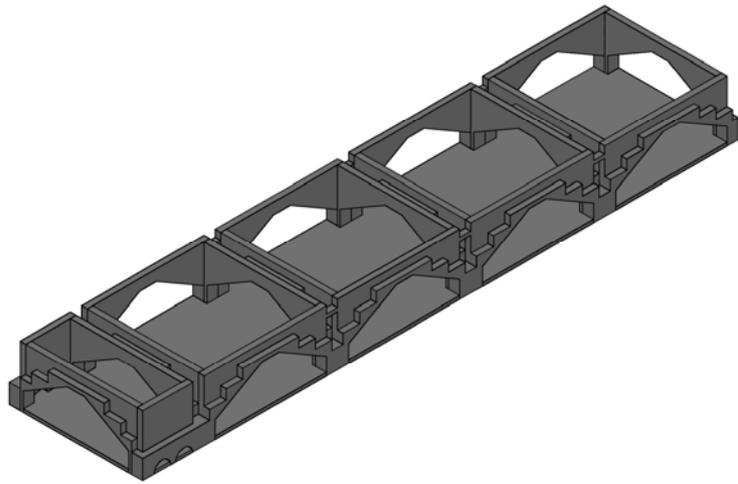


Abbildung 3: Fertigteilelement

Zweifach gekrümmte Schalen aus Betonfertigteilen

Sonja Dallinger, Institut für Tragkonstruktionen, TU Wien

Herbert Pardatscher, Institut für Tragkonstruktionen, TU Wien

Johann Kollegger, Institut für Tragkonstruktionen, TU Wien

Schalen sind nicht nur architektonisch sehr ansprechend sondern zeigen auch ein ausgesprochen gutes Tragverhalten. Die Herstellung von Schalen aus Beton wird konventionell mit Hilfe einer doppelt gekrümmten Schalung aus Holz oder Stahl realisiert. Diese Art der Herstellung ist jedoch meist sehr aufwendig und mit hohen Kosten verbunden.

In einem gemeinsamen FFG-Projekt des Vereins der Österreichischen Beton- und Fertigteilwerke und des Instituts für Tragkonstruktionen an der Technischen Universität Wien wird derzeit ein neues Herstellungsverfahren für Betonschalen entwickelt. Mit dieser neuen Herstellungsmethode wird eine zweifach gekrümmte Schale aus einer ebenen Platte hergestellt.

Bei dieser Herstellungsart besteht die Schale aus einzelnen Betonfertigteilelementen, deren Formen so gewählt werden müssen, dass sie in ihrer Endlage zu einer Schale zusammengefügt werden können. Die Fertigteile werden im Werk gefertigt und anschließend auf einer ebenen Arbeitsfläche verlegt und mit Stahlseilen verbunden, wobei bereits während der Herstellung Kanäle für diese Seile geschaffen werden müssen. Um nun diese Platte, bestehend aus gelenkig verbundenen Fertigteilelementen, in eine Schale umzuformen, wird eine pneumatische Schalung verwendet. Während Luft in den Pneu eingepulst wird, verformt sich die Platte in eine Schale. Anschließend werden die Fugen mit Vergussmaterial verfüllt.

Dieses neue Verfahren wurde an einer halbkugelförmigen Versuchsschale mit einem Durchmesser von 8,4m aus Beton getestet. Diese Betonschale besteht aus 96 vorgefertigten Betonfertigteilen, hergestellt von der Firma Oberndorfer, mit einer Dicke von nur 5cm. Von den 96 Elementen besitzen jeweils 16 dieselben Abmessungen, sodass für die Herstellung nur sechs unterschiedliche Schalungen notwendig sind (Abbildung 1). Jedes dieser Fertigteilelemente enthält Kanäle um die Seile für das Zusammenfügen der Teile durchführen zu können. Die Fertigteile werden vor Ort auf die noch nicht aufgeblasene pneumatische Schalung verlegt und durch Seile verbunden (Abbildung 2).

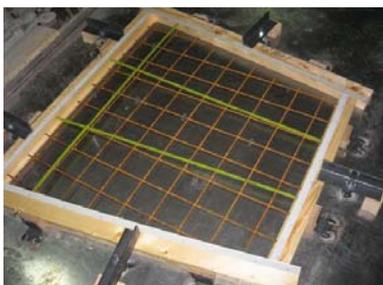


Abb. 1: Herstellung der Fertigteile



Abb. 2: Verlegen der Fertigteile

Die daraus entstehende Betonplatte hat einen Durchmesser von 13m.

Die pneumatische Schalung besteht aus PVC-Folie und hat - genauso wie die Betonschale - die Form einer Halbkugel.



Abb. 3: Aufstellvorgang der Betonkuppel

In Abbildung 3 ist der Aufstellvorgang zu sehen. Die pneumatische Schalung wird langsam aufgeblasen, sodass sich die Platte zu einer halbkugelförmigen Schale verformt. Der maximal benötigte Innendruck beträgt 35mbar. Die fertige Schale ist in Abbildung 4 zu sehen.



Abb. 4: Fertige Betonkuppel

Danksagung: Unser Dank gilt allen Projektbeteiligten: Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft, Verband der Österreichischen Beton- und Fertigteilewerke, Betonwerke Rieder GmbH, Franz Oberndorfer GmbH & Co, Ing. Hans Lang GmbH, SW Umwelttechnik Österreich GmbH, Holcim (Wien) GmbH, Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie und Austria Wirtschaftsservic

INTEGRATIVE LEBENSZYKLUSBEWERTUNG VON BETONSTRUKTUREN

Strauss, A., Bergmeister, K.
University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Abstract

Im konstruktiven Ingenieurbau gehört die Bestimmung des Sicherheitsniveaus der Gebrauchstauglichkeit und des Sicherheitsniveaus der Tragsicherheit zu wesentlichen Schritten innerhalb der Entwurfs-, Ausführungs- und Erhaltungsphase einer Struktur. Die Sicherheitsniveaus sind im Allgemeinen einer zeitlichen Änderung unterworfen, da mechanisch und chemische Änderungen der Materialeigenschaften aufgrund von natürlichen und künstlichen Einflüssen aus der Umwelt und Änderungen der Einwirkungen (z.B. aus dem Benutzerverhalten) stattfinden. In Bemessungs-Codes werden die Sicherheitsniveaus, um Unsicherheiten und unbekannte Größen der Entwurfs-, Ausführungs- und Erhaltungsphase zu erfassen, mittels Semi-probabilistischen Teilsicherheitskonzepten (SPSK) definiert. Die Teilsicherheits- und Kombinationsfaktorenkonzepte garantieren für eine Gruppe von Konstruktionstypen (z.B. Betonstrukturen oder Stahlstrukturen) und Einwirkungsklassen ein unteres Sicherheitsniveau. Bei der integrativen Bewertung werden zum Unterschied zum SPSK die strukturspezifischen Unsicherheiten und unbekanntes Größen im Detail analysiert. Dies ermöglicht aufgrund der gewonnenen Zusatzinformation das Sicherheitsniveau realitätsnaher abzubilden. Das primäre Ziel dieses Beitrages ist die Diskussion der integrativen Bewertungsmethodik an einer im Jahr 2008 abgebrochenen Autobahnbrücke. Im Speziellen erfolgte an dieser Brücke die Rekonstruktion des Sicherheitsniveauverlaufes während des gesamten Lebenszyklus.

Einleitung

Die Lebensdauer einer Struktur z.B. aus Konstruktionsbeton wird durch die Planungs-Entwurfsqualität, die geeignete Wahl der Baustoffe, die Qualität der Herstellung bzw. Bauausführung, und unter anderem durch Bauerhaltungskonzepte wesentlich beeinflusst. Ferner ist bei einer Lebensdauerbewertung nach der Bedeutung der einzelnen Tragwerkskomponenten in der Gesamtstruktur und aus der Umgebung vorhandenen mechanischen, physikalischen und chemischen Einwirkungen zu unterscheiden. Im Allgemeinen wird die Mindestlebensdauer von Strukturen und die damit verbundenen Sicherheitsniveaus aus funktionalen, ästhetischen und wirtschaftlichen Ansprüchen der Gesellschaft oder des Bauherrn abgeleitet. In den Bemessungscodes sind zur Erfüllung dieser Ansprüche unterschiedliche Bemessungssituationen und Erhaltungsstrategien für Strukturgruppen (z.B. Strukturen aus Konstruktionsbeton) definiert. Ein optimaler Einsatz der natürlichen Ressourcen und des volkswirtschaftlichen Vermögens ist die Zielvorstellung einer neuen Bemessungsstrategie im Sinne einer erweiterten integrativen Betrachtung. Bei der integrativen Betrachtung werden (a) die Standort spezifischen Gegebenheiten der Materialeigenschaften und der Umwelteinflüsse, (b) die Standort spezifische Ansprüche an das Sicherheitsniveau, (c) die Komplexität der Struktur, und (d) die Erhaltungsstrategien berücksichtigt.

Integrative Bewertungselemente

Die Einteilung der Strukturen in Sicherheitsklassen ist ein erster Schritt zur *integrativen Betrachtung der Entwurfs- und Bemessungsaufgabe*. Der in der EN1990 (ÖNORM 1990) vorgenommene Ansatz unterscheidet in Schadensfolgeklassen und gliedert diese in (a) die Schadensfolgeklasse CC3: hohe Folgen für Menschenleben oder sehr große wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen, (b) die Schadensfolgeklasse CC2: mittlere Folgen für Menschenleben, beträchtliche wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen, und (c) die Schadensfolgeklasse CC1: niedrige Folgen für Menschenleben, vernachlässigbare wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen. Die Schadensfolgeklassen werden demnach lt. EN 1990, wie in Tabelle 1 gezeigt, entsprechend der Versagensfolgen und der Häufigkeit der Nutzung unterschieden. Aufgrund dieser Klassen wird eine Reduktion der Teilsicherheitsfaktoren des SPSK und folglich die Anpassung der Nachweisverfahren an standortspezifischen Gegebenheiten ermöglicht. Der Hauptanspruch an die *integrative Modellierung einer Struktur* aus Konstruktionsbeton ist die möglichst realitätsnahe Bestimmung des Sicherheitsniveaus während des Lebenszyklus. Dieser Bedarf zumindest der Unterscheidung in die mechanische und chemische Modellbildung (z.B. Stofftransport, Prozesse innerhalb der Betonstruktur) und der geeigneten Kombination der Modelle (Mehrphasenmodelle). Die mechanischen, physikalischen und chemischen Modelleingangsgrößen und Angaben zu den Umweltbedingungen sind aus den verfügbaren Informationen aus der Entwurfs-, Ausführungs- und Erhaltungsphase zu bestimmen und in Ihrer Bedeutung zu gewichten. Im Allgemeinen, sind für diese Betrachtungen nichtlineare strukturmechanische und chemische Modellbildungen

erforderliche, in Ausnahmefällen können auch mit linearen Modellen gute Voraussagen erzielt werden. In diesem Beitrag werden unter anderem einige Mehrphasenmodelle, welche insbesondere für die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit und der Tragsicherheit entwickelt wurden, diskutiert. Die *integrative Betrachtung* (Reduktion der codespezifischen Sicherheitsmargen) ist zwangsläufig mit der Steigerung des Risikos eines Schadens aufgrund der unmittelbaren Konsequenzen bei Fehleinschätzung der Modelleingangsgrößen verbunden. Die Bewertung des gesteigerten Risikos ist mittels probabilistischer Sensitivitätsanalysen möglich, welche infolge ebenfalls wesentliche Elemente der integrativen Bewertungsmethoden sind.

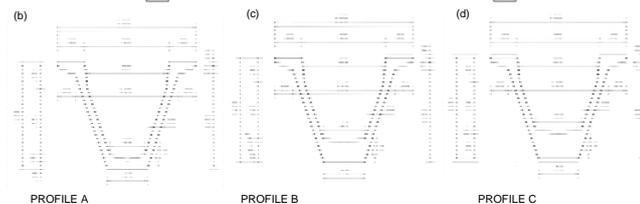
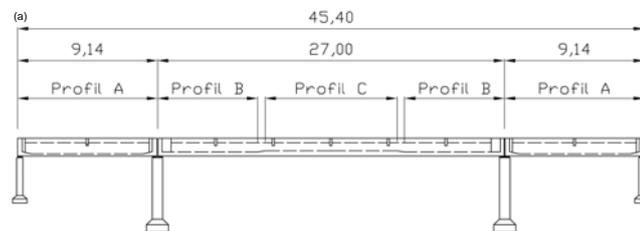
Tab. 1: Schadensfolgeklassen lt. EN1990

Häufigkeit der Nutzung	Versagensfolgen		
	Gering Landwirtschaftliche Gebäude	mittel Wohn- und Bürogebäude, Hotels, Schulen	Hoch Konzert- und Versammlungs-Hallen, Theater, Hochhäuser
hoch	-	CC3	CC3
mittel	CC2	CC2	CC3
gering	CC1	CC2	CC3

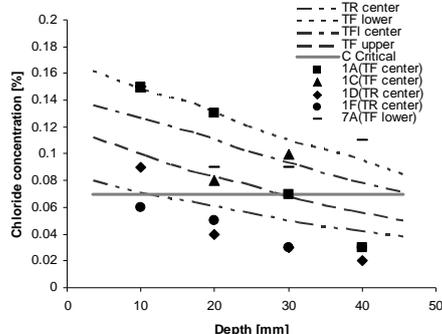
Anwendungsbeispiel

An der in Bild 1 gezeigten Neumarktbrücke, welche die Brennerautobahn A22 bei km 16,5 kreuzte, wurde die oben erwähnte integrative Bewertungsmethode durchgeführt. Zur Bestimmung der mechanischen und chemischen Eigenschaften des Betons und zur Bestimmung der Chloridbelastung der Bewehrungsstäbe erfolgte beim Abbruch der Brücke die Entnahme von Bohrkernen. In Folge diente eine Cellular Automato (CA) Analyse zur Rekonstruktion der sich zeitlich veränderten Betoneigenschaften. Die in Bild 1(b) dargestellten Chloridprofile stammen aus der CA Analyse. Sie sind neben den erhobenen Baustoff- Umweltdaten grundlegende Elemente für die probabilistische realitätsnahe Beschreibung der zeitlich veränderlichen Sicherheitsniveaus. Die Gegenüberstellung der probabilistisch ermittelten Strukturcharakteristika, wie dies in Bild 1(c) für die Betonspannung und das EN1990 Lastmodell LM1 gezeigt wird, ermöglicht die Bewertung der Effektivität der integrativen Lebenszyklusbewertung in Bezug auf die Normbemessung. Bild 1(c) lässt die Möglichkeit einer bis zu 90% erhöhten Verkehrslast erkennen.

(a)



(b)



(c)

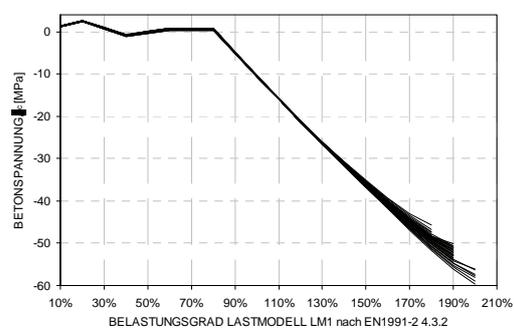


Bild 1.: Neumarktbrücke über die Brennerautobahn A22: (a) Haupt- und Querschnittsabmessungen der Struktur, (b) Chloridprofile aus der Cellular Automato (CA) Analyse, (c) Probabilistische Gegenüberstellung der maximalen Betonspannung in Feldmitte und dem Lastmodell LM1 nach EN1990.

Dipl.-Ing. Kerstin Wassmann, Dr. Peter Lunk

Ultrahochleistungsfaserbeton – Anwendungen für Instandsetzungen

Einleitung

Ultrahochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton (UHLFB) stellt eine ganz neuartige Betonentwicklung dar, die sich mit herkömmlichen Betonsystemen nicht ohne weiteres vergleichen lässt. Er zeichnet sich durch besonders hohe Festigkeiten (Druckfestigkeit $> 150 \text{ N/mm}^2$, einachsige Zugfestigkeit $> 8 \text{ N/mm}^2$) aus. Das außergewöhnliche Zugverhalten führt zu einer markanten Dehnungsverfestigung bis zu 1,5 %. Zusätzlich weist UHLFB aufgrund der sehr hohen Dichtigkeit eine geringe Permeabilität auf, wodurch der Eintrag von betonschädigenden Stoffen weitgehend vermieden wird.

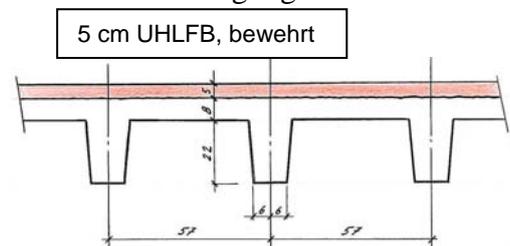
Mit UHLB ist es somit möglich, einerseits den Tragwiderstand und die Steifigkeit zu erhöhen und andererseits die Dauerhaftigkeit zu verbessern. Aufgrund der hohen Materialkosten des UHLFB wurde die Idee entwickelt, UHLFB-Dünnschichten nur dort einzusetzen, wo seine Eigenschaften auch wirklich ausgenutzt werden können. Von den verschiedenen Projekten, die in den vergangenen Jahren in der Schweiz mit UHLFB ausgeführt wurden, sollen die letzten zwei im Folgenden vorgestellt werden.

Ausgeführte Objekte

Verstärkung der Deckenplatte eines Feuerwehrgebäudes, Genf, 2007

Die befahrbare Decke eines Feuerwehrgebäudes aus dem Jahr 1957 in Genf musste infolge höherer Verkehrslasten verstärkt werden. Im Zuge des Vorprojektes wurde ein klassischer Abriss und Neubau der Decke aus Denkmalschutzgründen und wegen der Erhaltung der Funktionsfähigkeit der Feuerwehr verworfen. Der Alternativvorschlag zur Ertüchtigung mittels UHLFB brachte auf Grund dieser Abwägung zeitliche und finanzielle Vorteile. Der neu entwickelte UHLFB, der von Holcim unter dem Produktnamen Holcim 707 angeboten wird, wurde in einer Schichtdicke von 5 cm auf einer Fläche von 720 m^2 eingebaut. Der Fasergehalt lag bei 3 Vol.-%. Zusätzlich wurde konventionelle Bewehrung eingelegt. Die Nutzung des Feuerwehrgebäudes musste während der gesamten Baumassnahme gewährleistet werden. Es wurden insgesamt 6 Betonierabschnitte gewählt, sodass jederzeit 5 von 6 Ausfahrten für die Feuerwehr zur Verfügung standen.

Bild 1: Querschnitt der bestehenden Rippenplatte des Feuerwehrgebäudes (1957)



Der planende Ingenieur hat für die Auslegung der Tragfähigkeit nur die konventionelle, zusätzlich eingelegte Bewehrung berücksichtigt (Mischbauweise Typ R), nicht jedoch die 3 Vol.-% Stahlfasern. Somit sind bei der Nutzung der Decke noch signifikante Sicherheiten vorhanden, momentan in Form einer rissfreien Betonoberfläche sichtbar.

Ertüchtigung der denkmalgeschützten Dalvazza-Brücke, Luzein, 2007

Die Dalvazzabrücke bei Luzein, ein Denkmal der Ingenieurbaukunst der 1920er Jahre, war wegen ihres schlechten Zustands gefährdet (Bild 3). Das auf den ersten Blick eher unscheinbare Bauwerk basiert auf einem außergewöhnlichen Tragwerk, ein so genannter Vierendeel-Träger in bewehrtem Beton. Zum Schutz der Tragkonstruktion wurde eine Ertüchtigung und Abdichtung mit UHLFB beauftragt. Die schadhaften Partien mussten mit einem Hochdruckwasserstrahl gereinigt, lose Betonteile entfernt und reprofiliert werden. Die Fahrbahn wurde in einem Arbeitsgang mit einer neuen, wenige Zentimetern starken Schicht aus Ultrahochfestem Faserfeinkornbeton gleichzeitig verstärkt und abgedichtet. Der verwendete UHLFB Holcim 707 wurde mit 3 Vol.-% Fasern hergestellt.

Die statische Überprüfung zeigte, dass die Brücke auch mit reduziertem Bewehrungsquerschnitt den leichten Auto- und Landwirtschaftsverkehr der Lokalstrasse in Zukunft aufnehmen kann.



Bild 2: Die Landquartbrücke Dalvazza vor und nach der Instandsetzung
(Foto nach der Instandsetzung: Ralph Feiner, Malans)

Zusammenfassung

UHLFB bringt uns mit seinen außergewöhnlichen Eigenschaften wie hohe Duktilität, Zugfestigkeit und Dauerhaftigkeit, einen wesentlichen Schritt näher an die Erreichung einer hohen technischen Lebensdauer und damit Nachhaltigkeit von Betonbauwerken, die heute noch allzu oft nur mit hohen Instandsetzungszyklen erkauft wird. Im Bereich der vorgestellten Verbundsysteme (Beschichtungen) konnte ein hohes Erfahrungspotential gesammelt werden.

Verfasser:

Dipl.-Ing. Kerstin Wassmann
Holcim (Schweiz) AG

Dr. Peter Lunk
Holcim (Schweiz) AG

Helle Tunnelinnenschale ohne Beschichtung

Einleitung:

Die ASFINAG ist als Betreiber von rd. 2100 km Autobahn zur Sicherung eines hohen Qualitätsstandards laufend bestrebt innovative Lösungen voranzutreiben. Dabei steht vielfach der Tunnelbau – auch in Verbindung mit der aufwendigen Tunnelausrüstung - im Focus. Für den Tunnelbenutzer ist als ersten Eindruck ein sauberes und helles Erscheinungsbild ein Qualitäts- und Sicherheitsmerkmal. Dazu benötigt es hohe Standards auf der Fahrbahn, der Tunnelwand und auch im Bereich der Beleuchtung. Dafür wird von der ASFINAG Forschungstätigkeit in allen diesen Bereichen betrieben. Im Bereich der Fahrbahn werden unterschiedliche Beläge aus Beton und Asphalt in Bezug auf die Helligkeit und Griffigkeit und getestet. Bei der Beleuchtung wurden nach eingehenden Tests bei den letzten Tunnelprojekten, wie z.B. dem Tanzenbergtunnel, die bisher üblichen gelblich abstrahlenden Natriumdampflampen gegen Quecksilberdampflampen mit weißem Licht ersetzt. Derzeit laufen gerade Untersuchungen mit LED Beleuchtungssystemen.

Ein besonderer Schwerpunkt liegt bei Optimierung der Beständigkeit der Oberfläche von Tunnelwänden. Hier werden einerseits unterschiedliche Anstriche, Beschichtungssysteme und Vorsatzschalen getestet, andererseits gibt es auch hoch innovative Lösungen im Bereich der Betontechnologie wie im nachfolgenden Bericht aufgezeigt wird.

Projektbericht:

In den letzten Jahren wurden immer höhere Anforderungen an die Oberflächen von Tunnelinnenschalen hinsichtlich verminderter Oberflächenporosität (Beeinflussung der Reinigungsfähigkeit) und Helligkeit gestellt. Zur Erzielung dieser geforderten Oberflächeneigenschaften im Tunnel kommen hauptsächlich Anstriche zum Einsatz. Jedoch kommt es in den letzten Jahren immer wieder zu Schädigungen bzw. zum Ablösen des Anstrichsystems. Dies führt wiederum zu verkehrsbehindernden Instandsetzungsmaßnahmen des geschädigten Anstrichsystems bzw. des darunter liegendem Betons.

Aufgrund dieser Problematik entstand die Überlegung, die geforderten Anforderungen an die Oberfläche einer Tunnelinnenschale mit hellem „Self Compacting Concrete“ (SCC) ohne Aufbringung einer Anstrichschicht zu erfüllen.

Als erster Schritt wurden am Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZFi) Tastversuche unterschiedlicher heller SCC-Rezepturen durchgeführt. Um den Anforderungen des ÖVBB-Merkblattes „Anstriche für Tunnelinnenschalen“ bezüglich der Helligkeit gerecht zu werden, erfolgte an drei unterschiedlichen Betonrezepturen die Zugabe von jeweils unterschiedlichen Gehalten des Weißpigmentes Titandioxid. Um eine möglichst helle Betonoberfläche bei stabiler Mischrezeptur zu erhalten wurde dem Beton darüber hinaus Kalksteinmehl zugegeben. Zur Verifizierung der Helligkeitseigenschaften erfolgte eine lichttechnische Untersuchung der im Labor des VÖZFi hergestellten Probekörper am Wahrnehmungslabor für Lichttechnik der TU Dresden. Diese Analyse bestätigte die Ergebnisse der optischen Beurteilung, dass das Mischungsverhältnis mit der höchsten Zugabe an Weißpigment (5 % vom Zementgehalt)

Seite 1 von 2

einerseits die hellste Betonoberfläche erzeugt und andererseits auch die geforderten lichttechnischen Kennzahlen und damit die Anforderungen des Infrastrukturbetreibers erfüllt.

Abschließenden erfolgte noch eine Untersuchung der Gesamtwirtschaftlichkeit der Innovation beim möglichen Einsatz bei verschiedenen Tunnels. Als geeignetes Projekt für die Umsetzung eines Pilotversuches „hellen SCC als Instandsetzungsbeton“ wurde die Tunnelinnenschale des vierhundert Meter lange Massenbergtunnels (S6) im Bezirk Leoben identifiziert. Die Nordröhre des Massenbergtunnels hatte, aufgrund des Herstellungsjahres (1965), keine entsprechende Abdichtungsschicht. Die teilweise massiven Wassereintritte in den Fahrraum sollen durch ein modernes Abdichtungssystem in Verbindung mit einer neuen SCC-Tunnelinnenschale saniert werden.

Vor Baubeginn im Sommer 2009 wurden Referenzbauteile (Musterflächen) unter realitätsnahen Rahmenbedingungen (z.B. Schalhaut, Trennmittel, Bauteilstärke, Bauteilhöhe, Art der Verdichtung, Betonsorte, Mischanlage) hergestellt, um die Innenschalenherstellung weiter zu prüfen und zu optimieren. Weiters wurde auch ein „Probetunnel“ mittels einer Querschlagschalung (GQ-Querschnitt) mit Konterschabung hergestellt um die Verarbeitbarkeit sowie die Ausschalbedingungen vor der Herstellung des ersten Blockes unter Realbedingungen (Transport, Betonpumpe, Geschwindigkeit, etc.) zu untersuchen und zu optimieren.

Nach einer intensiven Optimierungsphase in allen Bereichen wurde der Beton C25/30/ISP/SCC/F66/GK16/Hell zum Einbau frei gegeben.

Bei der Festlegung der finalen Rezeptur des Betons wurden die wesentlichen Parameter der ÖVBB Richtlinie Innenschalenbeton berücksichtigt.

Das Bestreben der ASFINAG ist es durch den Einsatz innovativer Technologien, wie hier beim Pilotprojekte „Helle Tunnelinnenschale ohne Beschichtung“, Einsparungen im Bereich der Beleuchtung, eine raschere und leichtere Reinigung und eine Verringerung des hinkünftigen Sanierungsaufwandes zu erzielen.

DI Michael Steiner | ASFINAG Bau Management GmbH, Wien

Ing. Werner Strommer | ASFINAG Bau Management GmbH, Bruck/Mur