

KURZFASSUNG DER BEITRÄGE

# Kollo quium

Forschung & Entwicklung  
für Zement und Beton

2018

ACR

AUSTRIAN COOPERATIVE RESEARCH  
KOOPERATION MIT KOMPETENZ

TU  
WIEN

smartminerals  
science to design the future

VÖZ  
VEREINIGUNG DER ÖSTERREICHISCHEN  
ZEMENTINDUSTRIE

# Inhalt

- 4 **Oil Well Cements/Bohrlochzemente** (Vortrag auf Englisch)  
Prof. Agathe Robisson, PhD, TU Wien, *Wien*

## F&E Neue Prüfverfahren und Erkenntnisse

- 7 **Zerstörungsfreie Prüfung in der Baupraxis – Quo vadis?**  
Prof. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dr.-Ing. Markus Krüger,  
TU Graz, Institut für Materialprüfung, *Graz*
- 13 **Computertomographie zur dreidimensionalen  
und zerstörungsfreien Werkstoffprüfung**  
DI Gerhard Schindelbacher, Österreichisches Gießerei-Institut, *Leoben*
- 16 **Beton – Performance und Dauerhaftigkeit**  
Mag. (FH) DI Dr. Stefan Krispel, Smart Minerals GmbH, *Wien*

## F&E Aktuelle Forschungsprojekte

- 19 **Prüfverfahren zur besseren Abschätzung der Dauerhaftigkeit  
von Kompositzementen**  
Mag. Dr. Helga Zeitlhofer, Smart Minerals GmbH, *Wien*
- 21 **Immobilisierung von Schwermetallen in Recyclingbetonen**  
DI Birgit Achleitner, Smart Minerals GmbH, *Wien*
- 23 **Eigenschaften moderner Brückenbaubetone**  
DI Gerald Maier, Smart Minerals GmbH, *Wien*
- 28 **Vergleich des Kriechens und Schwindens  
großformatiger Betonkörper mit theoretischen Modellen**  
DI Dominik Suza, PhD, Prof. DI Dr. Johann Kollegger,  
TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen, *Wien*

## F&E Umsetzung der Bauteilaktivierung

- 31 **Energiespeicher Beton:  
Aktuelle Monitoring-Ergebnisse von einem Einfamilienhaus**  
DI Sebastian Spaun, VÖZ, *Wien*
- 36 **Wohnpark Wolfsbrunn –  
Erste bauteilaktivierte Wohnhausanlage in NÖ**  
Ing. Jörg Hoffmann, Erste Burgenländische Gemeinnützige  
Siedlungsgenossenschaft, *Pöttlaching*
- 39 **What you see is what you get.  
Unser Architekturcluster in Sichtbeton.**  
Arch. DI Erwin Stättner, Franz und Sue ZT GmbH, *Wien*
- 41 **Heizen und Kühlen mit Beton im Wohnbau –  
Projekt MGG<sup>22</sup> in Wien**  
Mag. Arch. Peter Thalbauer,  
Sophie und Peter Thalbauer ZT GmbH, *Wien*
- 44 **Bauteilaktiviertes Wohnprojekt Theresienfeld**  
Arch. DI Michael Aigner,  
Steinkogler Aigner Architekten ZT GmbH, *Wien*

## F&E im Hochbau

- 47 **Mineralisch hydraulisch gebundene Dämmungen – Stand der Entwicklungen und Projekte**  
DI Anja Ebenschweiger, Lafarge Zementwerke GmbH, *Wien*
- 50 **Viva Forschungspark – Innovationszentrum für den Vergleich von Baustoffen**  
BM Ing. Erich Reindl, Baunit GmbH, *Wopfing*
- 52 **Pumpbarer Leichtbeton – Demonstrationsprojekt in Wien**  
DI Thomas Schönbichler, Cooperative Leichtbeton Werbegemeinschaft GmbH, *Wien*

## F&E im Tiefbau

- 55 **EcoRoads – Instandsetzungsbauweisen in Beton für das Landesstraßennetz**  
DI Dr. Martin Peyerl, Smart Minerals GmbH, *Wien*  
DI Dr. Lukas Eberhardsteiner,  
TU Wien, Institut für Verkehrswissenschaften, *Wien*
- 58 **Entwicklung eines haufwerksporigen Betons für den Lärm- und Anprallschutz**  
BM DI Gerald Lanz, MABA Fertigteilindustrie GmbH, *Wöllersdorf*
- 60 **Research@ZaB als regionales Flaggschiff**  
Prof. DI Dr. Robert Galler, Zentrum am Berg, *Eisenerz*
- 63 **Entwicklung neuer dauerhafter und nachhaltiger Spritzbetone**  
Prof. DI Dr. Wolfgang Kusterle, OTH Regensburg, *Regensburg*

# Oil Well Cements/ Bohrlochzemente

Prof. Agathe Robisson, PhD  
TU Wien, *Wien*

## Cement systems for oil and gas wells

Prof. A. Robisson, Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

Primary cementing, the action of isolating the annulus between the casing of the well and the formation (the subterranean rock) is of primary importance in the construction of a well. It provides zonal isolation, i.e. it prevents the migration of fluids along the well, in effect re-isolating geological layers that have been connected during drilling.

Cementing follows directly the drilling phase. After a segment of a well is drilled, a large pipe is placed inside the hole and cement is circulated from surface, on the inside of the pipe, down the well, and back up through the annulus (the space between the newly drilled hole and the metallic pipe), Fig. 1.

At the beginning of the drilling process, the well is filled with mud, a complex mixture that is designed to match the naturally occurring formation pressure. More precisely, the hydrostatic pressure exerted by the column of mud should be more than the pore pressure (pressure exerted by fluids, such as hydrocarbons, in the pore space of rock), and less than the fracturing pressure (pressure at which the geologic formation will break down or "fracture."). Pressures of 70 MPa ( $\approx 700$  atm) are not uncommon.

When pumped from surface, cement should displace the present mud, while also closely balancing its pressure between the pore pressure and the fracturing pressure. If the pressure exerted by the cement is too low, fluid present in the formation could leak to surface; if it is too high, it may break the formation. Slurry density therefore needs to be carefully adjusted. Slurry viscosity also plays a crucial role. If it is too low, cement may not properly displace the mud, creating leakage paths in the annulus. This could also happen if the pipe is not well centralized in the hole, creating smaller conduit where cement will not flow. If it is too high, cement slurry may fracture the formation, or the pressure applied at surface to circulate the cement slurry may reach the limit of the pump. During its travel, cement will experience varying temperature (surface to downhole temperature). This will influence its viscosity, gel time and setting time.

Finally, after it sets, the cement sheath should provide sufficient mechanical properties to sustain stresses in the well: casing expansion and contraction (pipe heats -expand- during production, cools down -contracts- when fluids are pumped from surface, and may contract upon the release of hydrocarbon to surface, as the confining pressure of the rock will decrease), casing shear due to subsidence, etc.

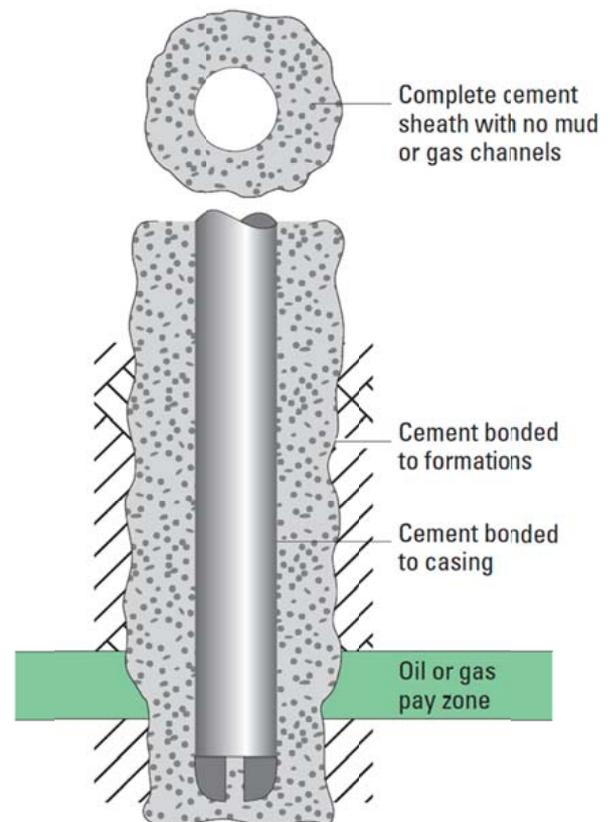


Fig.1 – Successful result of primary cementing operation- Cement completely fills the annulus, and is bonded to pipe and to formation  
From (Nelson & Guillot, 2006)

Cement slurries recipes must take all the above factors into account. They may contain 10-20 additives: retarders (delay the setting time of a cement system), accelerators (reduce the setting time and increase the rate of compressive strength development), extenders (reduce slurry density), weighting agents (increase slurry density), dispersants (improve rheology by reducing the viscosity), fluid loss control agents (to avoid filtration if the cement slurry passes a permeable rock), lost-circulation control agents (minimize loss of cement slurry in a weak formation), etc. Other additives include rubber particles (flexible cement), nylon fibers (increase cement toughness), expanding agent (to counteract shrinkage). These additives may impact more than one property of the cement slurry, and may impact other additive's efficacy. Even more importantly, their effect may vary hugely depending on the cement type, including within a cement classification. Fig.2 illustrates this aspect.

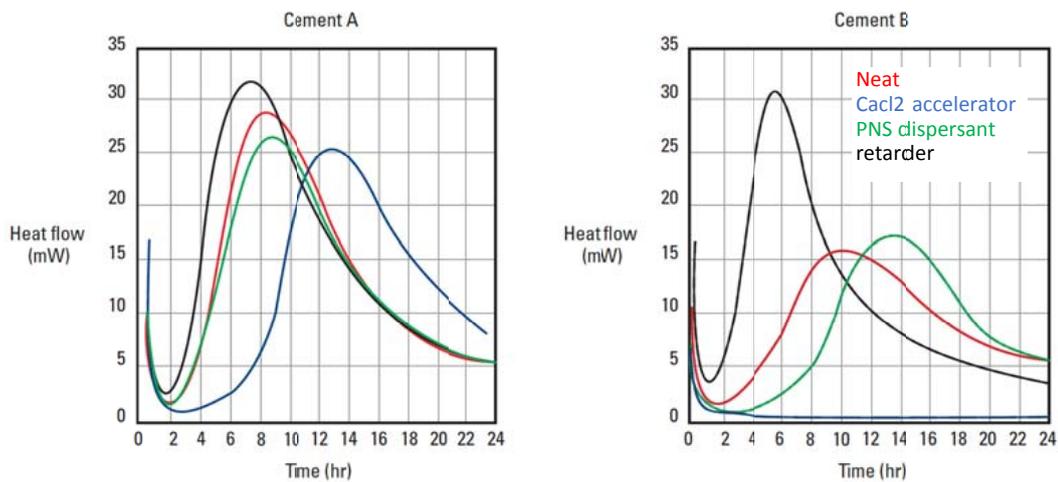


Fig. 2 – Calorimetry data for two different cements, with the same set of additives. From (Nelson & Guillot, 2006)

Other important parameters that influence additive performance include temperature (80-150 °C are typical temperatures), pressure, additive concentration, mixing energy, mixing order, and water-to-cement ratio.

Due to variability between wells, including neighboring wells, and variability in cement and additives, the recipes are customized to each well, each cement batch and checked for each additive batch. Cement labs are in charge of such design, and perform a set of slurry testing. Cement lab testing should be performed close to the well conditions (temperature and pressure). This significantly complicates testing setups and procedures. Typical tests include slurry density, setting time, fluid loss, compressive strength, sonic strength, free fluid, rheology, static gel strength, expansion and shrinkage, gas migration and permeability.

Finally, after cement has been placed and has set, its ability to properly isolation can be evaluated. Hydraulic tests can be performed: pressure in the well is increased or decreased, and one looks at pressure hold. Also, sensors can be run down the well to evaluate some properties of the cement annulus, using acoustic techniques.

#### Literature:

Well Cementing, 2<sup>nd</sup> Edition, Nelson & Guillot, 2006

Macondo, the gulf oil disaster, Chief Counsel's Report, 2011

F&E Neue Prüfverfahren und Erkenntnisse

# Zerstörungsfreie Prüfung in der Baupraxis – Quo vadis?

**Prof. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dr.-Ing. Markus Krüger**  
TU Graz, Institut für Materialprüfung, *Graz*

# Zerstörungsfreie Prüfung in der Baupraxis – Quo vadis?

Markus Krüger

*Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie, TU Graz, Österreich*  
*krueger@tugraz.at*

## KURZFASSUNG:

Die Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) im Bauwesen hat sich in den vergangenen Jahrzehnten enorm weiterentwickelt, wobei die zerstörungsfreie Untersuchung von Stahl- und Spannbetonbauten zu einer der häufigsten Anwendungen von ZfP im Bauwesen gehört. Im Rahmen der Qualitätssicherung beim Neubau sowie bei der Bestands- und Schadensaufnahme bei bestehenden Bauwerken werden seit vielen Jahren bereits erfolgreich zerstörungsfreie Prüfverfahren eingesetzt. Während die grundsätzlichen Messprinzipien sich über die Jahre nicht wirklich verändert haben, ist ein hoher technologischer Fortschritt hinsichtlich der zu Verfügung stehenden Messsysteme sowie der Datenauswertung, der Datenvisualisierung und letztendlich der Dateninterpretation zu verzeichnen. Scannende Messsysteme und bildgebende Verfahren weisen dabei ein hohes Potenzial in Hinblick auf die Visualisierung von versteckten Bauwerksstrukturen und -eigenschaften als „Gläsernes Bauwerk“ auf.

## 1 Einleitung

Grundlage für den erfolgreichen Einsatz zerstörungsfreier Prüfverfahren (ZfP) im Bauwesen ist neben der Kenntnis über die Baukonstruktion und möglicher Fehler auch die Kenntnis über geeignete ZfP-Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen. In den letzten Jahren wurde insbesondere die Geräte- und Verfahrenstechnik zur zerstörungsfreien Prüfung und die computergestützte Interpretation der Messergebnisse erheblich verbessert. Einen guten Überblick über die fortschreitende Entwicklung der ZfP im Bauwesen findet man in den Merkblättern der Deutschen Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP), die in regelmäßigen Abständen aktualisiert und erweitert werden [1-9]. In den Merkblättern werden neben den Grundzügen der Verfahren und Geräte auch typische Anwendungsszenarien und Praxisbeispiele erörtert, um so Bauherren, Planern und Anwendern einen Eindruck über die Anwendungsmöglichkeiten und –grenzen der ZfP im Bauwesen zu vermitteln.

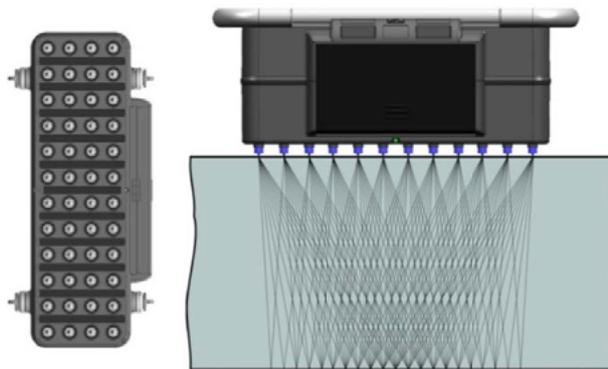
## 2 Historische Entwicklung der ZfP

Sergej Sokolow brachte als einer der ersten Forscher im Jahr 1928 Ultraschall zur technischen Anwendung bei der Materialprüfung und konnte damit in metallische Werkstoffe quasi „hineinsehen“ und Strukturschäden ermitteln. In den Folgejahren wurde die Entwicklung von zerstörungsfreien Prüfverfahren und auch Geräten vorangetrieben, wobei die zerstörungsfreie Prüfung von Baustoffen und Konstruktionen von den Entwicklungen in der Militärtechnik (z.B. Radar, Sonar etc.) oder der Medizintechnik profitiert hat. Durch die fortlaufenden Entwicklungen in der Elektrotechnik, der Sensorik und in der Computertechnik wurden wesentliche Fortschritte hinsichtlich der Sensitivität, der Reproduzierbarkeit und der Messdatenerfassung wie auch –auswertung erzielt.

## 3 Stand der ZfP heute

In den letzten Jahrzehnten wurde die Anwendung von wellenbasierten Prüfverfahren bedeutend verbessert. Dabei liegt die Verbesserung im Wesentli-

chen in der Verwendung von Sensorarrays (vgl. Abbildung 1 & Abbildung 2) und automatisierten Messeinrichtungen, mit denen sehr engmaschig (übliche Messraster liegen hier zwischen 1 cm und 5 cm) kleinere Teilflächen (wenige m<sup>2</sup>) von Betonkonstruktionen untersucht werden können (vgl. Abbildung 3).



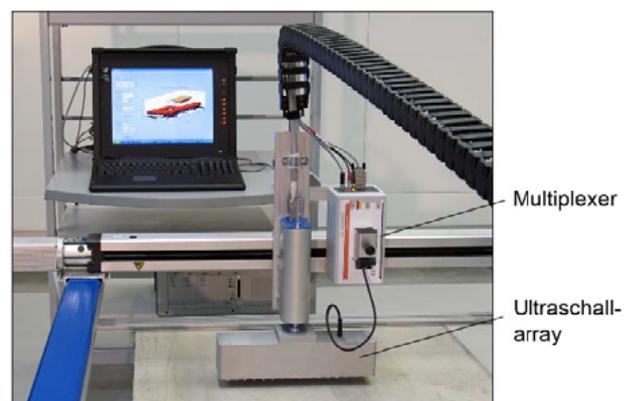
**Abbildung 1: Untersicht auf das Linear-Prüfkopfarray A1040 MIRA mit zwölf Prüfkopfmodulen (links); Messprinzip mit Schallwegen der multistatischen Messung (rechts) (ACSYS Ltd., Moskau) [4]**



**Abbildung 2: Linear-Prüfkopfarray A1040 MIRA mit SAFT-Rekonstruktionsrechnung und Bilddarstellung. [4]**

Erst durch diese quasi scannende Messung und die anschließende bildgebende Auswertung entlang von Linien oder Flächen können Einbauteile wie beispielsweise Spannglieder auch in größeren Tiefen – trotz naturgemäßer struktureller Inhomogenitäten und damit verbundenen teilweise gestörten Einzelsignalen – eindeutig identifiziert werden. Unterstützt wird die Auswertung zudem durch die Verwendung von verschiedenen Verfahren zur

Datenfilterung und zur Datenrekonstruktion, um so Störeinflüsse oder verfahrensbedingte Artefakte in der bildhaften Darstellung der Messergebnisse weitgehend zu eliminieren. Eine der effizientesten Methoden ist hier die Verwendung der sogenannten SAFT-Rekonstruktion (Synthetic Aperture Focusing Technique), die in verschiedenen Variationen angewendet wird [12]. Sie eignet sich zur Rekonstruktion und dreidimensionalen Darstellung des untersuchten Objekts, wodurch sich darin befindende Objekte wie Konstruktionselemente, Einbauteile wie Spannglieder sowie Fehlstellen einfacher nachweisen und in ihrer Position bestimmen lassen. Array-Verfahren und Tomographieverfahren zur 3D-Rekonstruktion von inneren Strukturen ermöglichen heutzutage, auch tieferliegende Strukturen zu identifizieren, selbst wenn diese vermeintlich durch oberflächennah liegende Elemente (z.B. schlaffe Bewehrung über Spanngliedern) „abgeschattet“ werden.

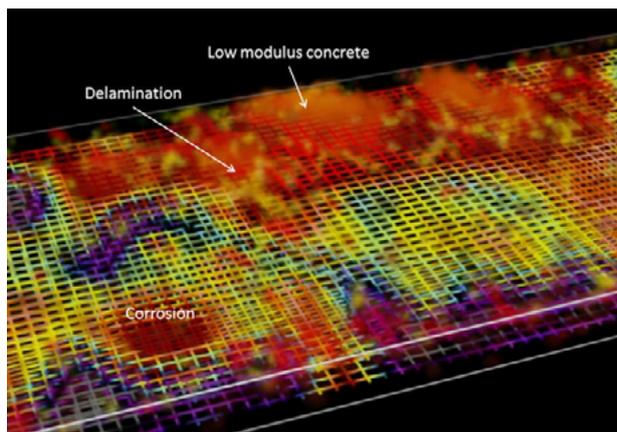


**Abbildung 3: FLEXUS-Scanner mit Prüfkopfarray, entwickelt von der MFPA Weimar [4]**



**Abbildung 4: Roboterplattform mit einer Vielzahl verschiedener ZfP-Verfahren zu simultanen orts aufgelösten Messung. [18]**

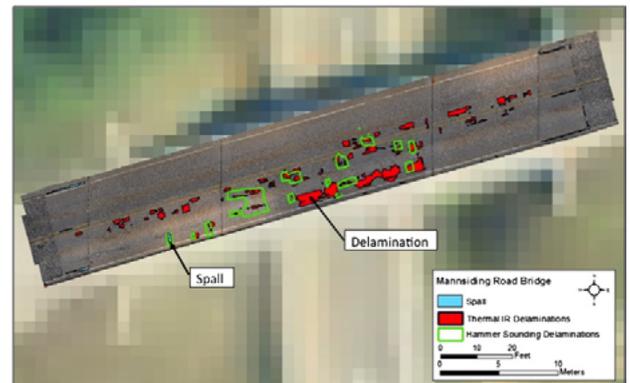
Aber nicht nur die tomographische Auswertung von mittels einem Messverfahren erfassten Messdaten wird vorgenommen, sondern auch eine Kombination von verschiedenen Messverfahren in ein Gesamtbild (vgl. Abbildung 5). Hierzu ist es notwendig mit hoher Präzision die Ortskoordinaten der Einzelmessungen zu erfassen und eine entsprechende Software bereitzustellen die die multivektoriellen Messdaten in geeigneter Weise auswerten und darstellen kann. Neue Entwicklungen wie die im Rahmen des Programms „Long-Term Bridge Performance“ der US Federal Highway Administration entwickelte Roboterplattform „RABIT“, zeigen, dass mittels Roboter und einer Kombination von verschiedenen Verfahren die Anwendung von ZfP-Verfahren nicht nur sicherer und schneller vorgenommen werden kann, sondern dass auch die Verfahrenskombination deutliche Vorteile in Hinblick auf die Dateninterpretation ermöglicht. Zudem ergeben sich durch die hohe Reproduzierbarkeit der Messdurchführung neue Möglichkeiten, auch die Dauerhaftigkeit und die Schädigungsprozesse durch wiederholte Messungen besser erfassen und bewerten zu können. Damit kann die wiederholte ZfP als Hilfsmittel zur Lebensdaueranalyse dienen (vgl. hierzu auch [17], [18])



**Abbildung 5: 3D-Visualisierung verschiedener Schäden als Kombination unterschiedlicher Untersuchungsmethoden. [18]**

Die Erfassung und Bewertung von Schadensprozessen erfolgt in der Folge nicht mehr nur aufgrund der in der Vergangenheit durchgeführten und als maßgeblich erachtenden visuellen Prüfung, sondern umfasst auch Kenndaten zum Inneren der untersuchten Struktur. Eine geeignete Visualisie-

rung der Messdaten vorausgesetzt (vgl. hierzu auch Abbildung 5 & Abbildung 6), werden nicht nur auffällige Konstruktionsdetails bzw. Schäden sichtbar, sondern es besteht auch die Möglichkeit den konkreten Bedarf und den Umfang von Instandsetzungsmaßnahmen direkt abzuschätzen.



**Abbildung 6: Visualisierung von Schäden auf einer Brückenkonstruktion. [19]**



**Abbildung 7: Überlagerung der Ergebnisse von Impact-Echo-Messungen mit einem 3D-Bild, erzeugt mit LiDAR. [17]**

#### 4 Zukünftige Entwicklungen

Die bisherigen Entwicklungen zeigen den Trend hin zu einer weitgehend automatisierten Messdatenerfassung und den Bedarf an einer geeigneten Visualisierung der Messergebnisse. Waren es in der Vergangenheit teilweise nur Einzelmessungen an ausgewählten Punkten einer Konstruktion (siehe z.B. Anwendung des Schmidthammers zur Abschätzung der Betonfestigkeit), so werden heute bevorzugt eher Linienmessungen oder gar flächenhafte Messungen vorgenommen. Dies ist im Besonderen dem Umstand geschuldet, dass Artefakte bei punktuellen Einzelmessungen oftmals keine

eindeutige Interpretation der Messergebnisse an einem Ort zulassen.

Bei einer flächenhaften Messung geht der Trend in Richtung einer 3D-Rekonstruktion der Messdaten und einer Visualisierung, die dem in der Bautechnik versierten Nutzer eine in Hinblick auf die Konstruktions- und Zustandsdetails geeignete Interpretation erlaubt.

Die Visualisierungstechniken werden zukünftig sicher durch moderne Technologien noch wesentlich verbessert werden. Erste Ansätze z.B. zur Augmented-Reality-Visualisierung wurden bereits verfolgt (vgl. Abbildung 8) [13]. Dabei werden visuelle Bilder aus der ZfP mit 3D-Planungsdaten (Stichwort BIM) überlagert. Idealweise ergeben sich damit neue Möglichkeiten, wie den automatisierten Abgleich von Planungsdaten mit Realdaten, die direkte Lokalisierung von Konstruktionsmerkmalen vor Ort während der Durchführung von Baumaßnahmen u.v.m.

Erste Entwicklungen sind zudem schon realisiert, bei denen Verfahren zur künstlichen Intelligenz eingesetzt werden. Dies vorrangig mit dem Ziel, Artefakte aus den Messdaten zu eliminieren und damit die Dateninterpretation zu verbessern.

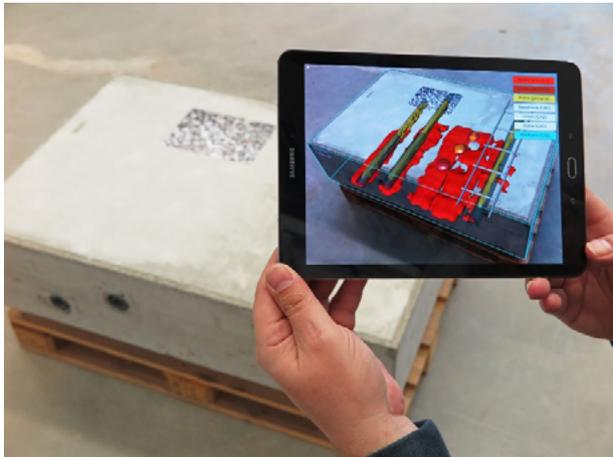


Abbildung 8: Visualisierung durch Augmented Reality. [13]

## 5 Technische Regelwerke

In Deutschland wurden neben den Merkblättern der DGZfP in der jüngeren Vergangenheit weitere Merkblätter in verschiedenen Arbeitskreisen erstellt, in denen die ZfP-Verfahren aus der Sicht des Baupraktikers dargestellt werden (siehe z.B. [10], [11]). Hierin werden neben der der Einschätzung der technischen Anwendungsgrenzen auch wirt-

schaftliche Aspekte beleuchtet, was dem Baupraktiker hinsichtlich der Ausschreibung und Auswahl von geeigneten ZfP-Verfahren für die Lösung seines spezifischen Problems Hilfe leisten soll.

Eine der wenigen deutschsprachigen Richtlinien (abgesehen von genormten Prüfung mit dem Rückprallhammer nach Schmidt) ist die deutsche RI-ZfP-TU. Diese hat ihre praktische Relevanz bei der Dickenbestimmung von Stahlbetonbauteilen im Bereich des Tunnelbaus. Die Dickenbestimmung der Tunnelinnenschale mittels zerstörungsfreien Prüfverfahren ist eine der ersten ZfP-Anwendungen, die in Deutschland verbindlich für die Qualitätssicherung im Rahmen der Bauausführung über eine Richtlinie eingeführt wurde [14].

Die RI-ZFP-TU nennt dabei zwei Verfahren, das

- Impakt-Echo-Verfahren, und das
- Ultraschall-Echo-Verfahren.

Der Nachweis zur Überprüfung der Tunnelinnenschale obliegt dabei zunächst dem bauausführenden Unternehmen im Zuge der Eigenüberwachungsprüfung. Ergänzt wird dies durch weitere Kontrollprüfungen seitens des Auftraggebers.

Vergleichbare Merkblätter wie die der DGZfP und des DBV in Deutschland oder gar der Richtlinie RI-ZfP-TU sind in Österreich derzeit nicht verfügbar. Allerdings befasst sich ein kürzlich ins Leben gerufener Arbeitskreis des ÖBV mit der Erstellung eines Merkblatts bzw. einer Richtlinie zur zerstörungsfreien Prüfung.

## 6 Zusammenfassung

Die zerstörungsfreie Prüfung von Stahl- und Spannbetonbauteilen hat in den vergangenen Jahren deutliche Fortschritte gemacht. Nichtsdestotrotz kann auch die fortlaufende Weiterentwicklung der Verfahren und Geräte die Gesetze der Physik nicht außer Kraft setzen. Die im vorliegenden Beitrag diskutierten Verfahren sind für die Anwendung mit nur einseitigem Zugang zum Bauwerk konzipiert. Dieser Umstand führt dazu, dass Bauteilinhomogenitäten, Einbauteile, Fehlstellen oder sonstige Schäden vom Messgerät aus gesehen in der Regel nur bis zum ersten Auftreffen innerhalb der Konstruktion detektiert werden können. Tiefer liegende Einbauteile, Inhomogenitäten etc. werden durch die darüber liegenden Elemente quasi abgeschattet. Mittlerweile können aber durch die zwei-

oder dreidimensionale Rekonstruktion multipler Datensätze mittels analytischer Verfahren unter Umständen aber auch Elemente detektiert werden, die bei der alleinigen Analyse einer Einzelmessung nicht detektiert und lokalisiert hätten werden können. Voraussetzung ist dabei die Verwendung von engmaschigen Messrastern bzw. scannenden Verfahren.

## 7 Literatur

- [1] Merkblatt B1: Merkblatt für Durchstrahlungsprüfung von Stahl- und Spannbeton, DGZfP, April 1990
- [2] Merkblatt B2: Merkblatt zur zerstörungsfreien Betondeckungsmessung und Bewehrungsanordnung an Stahl- und Spannbetonbauteilen. DGZfP, April 2014, 54 S.
- [3] Merkblatt B3: Merkblatt für elektrochemische Potentialmessungen zur Detektion von Bewehrungsstahlkorrosion. DGZfP, April 2014, 21 S.
- [4] Merkblatt B4: Merkblatt für das Ultraschall-Impuls-Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung mineralischer Baustoffe und Bauteile. DGZfP, 2019, in print.
- [5] Merkblatt B5: Merkblatt über das aktive Thermographieverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen, DGZfP, 2013, 20 S.
- [6] Merkblatt B6: Merkblatt über die Sichtprüfung und Endoskopie als optische Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen. DGZfP, Januar 1996
- [7] Merkblatt B10: Merkblatt über das Radarverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen. DGZfP, Februar 2008, überarbeitete Fassung, 41 S.
- [8] Merkblatt B11: Merkblatt über die Anwendung des Impakt-Echo-Verfahrens zur zerstörungsfreien Prüfung von Betonbauteilen, DGZfP, März 2011, 39 S.
- [9] Merkblatt B12: Merkblatt über das Korrosionsmonitoring bei Stahl- und Spannbetonbauwerken, DGZfP, 2018, 60 S.
- [10] DBV-Merkblatt „Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen“ Fassung Januar 2014, 113 Seiten.
- [11] DBV-Merkblatt “Betondeckung und Bewehrung – Sicherung der Betondeckung beim Entwerfen, Herstellen und Einbauen der Bewehrung sowie des Betons nach Eurocode 2”. – Fassung Dezember 2015.
- [12] Schickert, M.: Vergleich verschiedener SAFT-Verfahren bei der Ultraschall-SAFT-Rekonstruktion von Betonbauteilen, DGZfP Jahrestagung 2013, Mi.2.B.4
- [13] Schickert, M., Koch, C., Bonitz, F.: Erste Schritte zu einer Augmented-Reality-Visualisierung des inneren Aufbaus von Betonbauteilen. DGZfP-Jahrestagung 2018.
- [14] Richtlinie für die Anwendung der zerstörungsfreien Prüfung von Tunnelinnenschalen (RI-ZFP-TU) Ausgabe 2014, ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 1, Anhang A
- [15] Handlungsanweisung zur Überprüfung und Beurteilung von älteren Brückenbauwerken, die mit vergütetem spannungsrissskorrosionsgefährdetem Spannstahl erstellt wurden. Der Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Straßenbau und Straßenverkehr, Ausgabe Februar 2010.
- [16] Große, C. U., Wiggenhauser, H., Algernon D., Schubert, F., Beutel, R.: Impact-Echo - Stand der Technik und Anwendungen des Verfahrens, Hefte des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, DAfStb, Heft 565, Berlin, S. 17-24, (2006)
- [17] Zobel, R., Lane, S., Ghasemi, H., Saad, T.: ND Condition Assessment of George Washington Memorial Parkway/Arlington Memorial Bridge. RB 93rd Annual Meeting LTBP Program Workshop – Program Briefing Washington, DC – Thursday January 16, 2014. [https://www.fhwa.dot.gov/multimedia/research/infrastructure/bridges/ltpb/memorial\\_bridge\\_zobel.cfm](https://www.fhwa.dot.gov/multimedia/research/infrastructure/bridges/ltpb/memorial_bridge_zobel.cfm)
- [18] Gucunski, N., Maher, A., Basily, B., La, H., Lim, R., Parvardeh, H., Kee, S.-H- (2015). Croatia Journal for NDT Gucunski La.
- [19] Vaghefi, K., Ahlborn T.M., Harris, D.K. Brooks, C.N., Combined imaging technologies for concrete bridge deck condition assessment. J. Perform constr Facil 29(4):04014102, 2015 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000465](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000465)

F&E Neue Prüfverfahren und Erkenntnisse

# Computertomographie zur dreidimensionalen und zerstörungsfreien Werkstoffprüfung

**DI Gerhard Schindelbacher**

Österreichisches Gießerei-Institut, *Leoben*

## Computertomographie zur dreidimensionalen zerstörungsfreien Werkstoffprüfung

Gerhard Schindelbacher | Bernd Oberdorfer | Daniel Habe

Österreichisches Gießerei-Institut | Parkstraße 21 | 8700 Leoben | [www.ogi.at](http://www.ogi.at)

Seit mehr als 30 Jahren ist die Computertomographie in der Medizin eine anerkannte Methode. Aus der modernen Medizin ist dieses bildgebende, diagnostische Verfahren nicht mehr wegzudenken. Die Fortschritte in der Anlagentechnik sowie in der Verfügbarkeit von Rechenleistung ermöglichten es, in den letzten Jahren diese Technologie vermehrt für technische Anwendungen zu nutzen.

Das Österreichische Gießerei-Institut (ÖGI) in Leoben hat zwei Computertomographieanlagen phönix |x-ray der Fa. GE (Abb. 1). Mit diesem zerstörungsfreien dreidimensionalen Blick ins „Innere“ eröffnen sich völlig neue Wege bei der Werkstoffforschung, Bauteilentwicklung und Prozessoptimierung.

Die Untersuchungsmethode ist unabhängig vom Material und kann daher bei metallischen und keramischen Werkstoffen aber auch bei Kunststoffen, Materialien aus der Feuerfest- und Bauindustrie sowie bei Verbundwerkstoffen und auch bei Werkstoffverbunden eingesetzt werden.

Mit Hilfe der Computertomographie ist es möglich Defekte im Inneren von Proben und Bauteilen, wie Poren, Einschlüsse, Gefügauflockerungen u. ä. zu detektieren. Im Vergleich zur Durchstrahlungsprüfung (Radioskopie) lassen sich kleinere Fehler bei besserem Kontrast darstellen. Zusätzlich können Aussagen über die Geometrie und Lage der Ungängen getroffen werden.

Bei der CT-Untersuchung wird das zu untersuchende Objekt von einer Röntgenquelle durchstrahlt und dabei schrittweise um 360° gedreht (Abb. 2). Die durch das Objekt durchtretenden Röntgenstrahlen werden von einem digitalen Flächendetektor erfasst und von einem Hochleistungscomputer zu einem dreidimensionalen Modell des Objekts rekonstruiert. Dieses kann nun je nach Aufgabenstellung visualisiert und analysiert werden.

Die durchstrahlbare Dicke ist abhängig von der Dichte der Probe. Sie beträgt bei einer Röntgenleistung von 320 kV ca. 200 mm in Aluminium, ca. 25 mm in Stahl und ca. 200 mm in Beton.

Abb. 3 bis 5 zeigen einige Anwendungsbeispiele und Untersuchungsmöglichkeiten der CT für Beton und Asphalt auf.



Abbildung 1: CT-Anlage am ÖGI

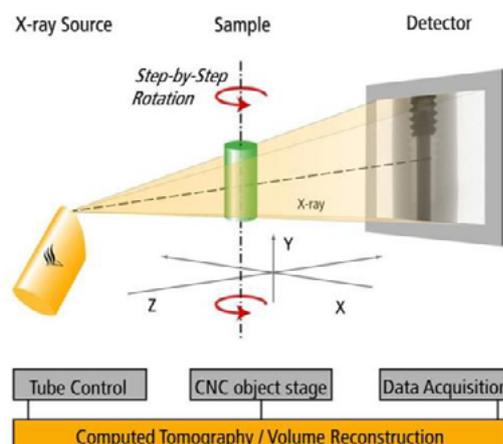


Abbildung 2: Prinzip der Computertomographie

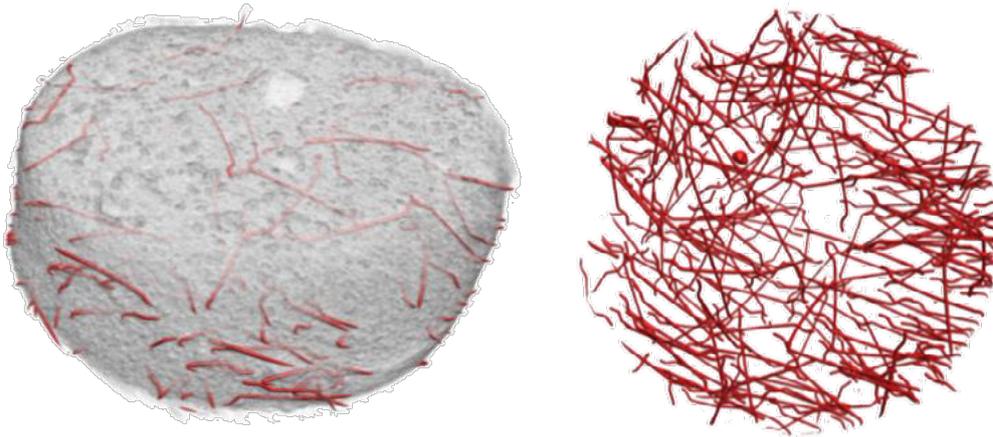


Abbildung 3: Mit Stahlfasern verstärkte Betonprobe

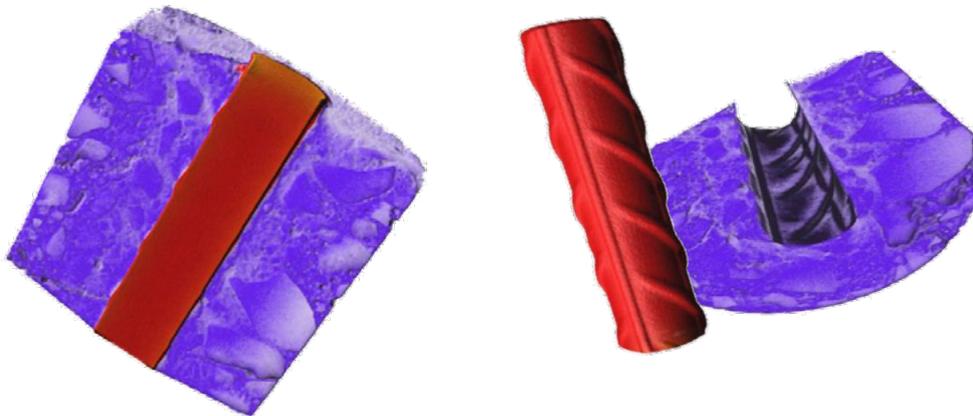


Abbildung 4: Eingegossener Betonstahl

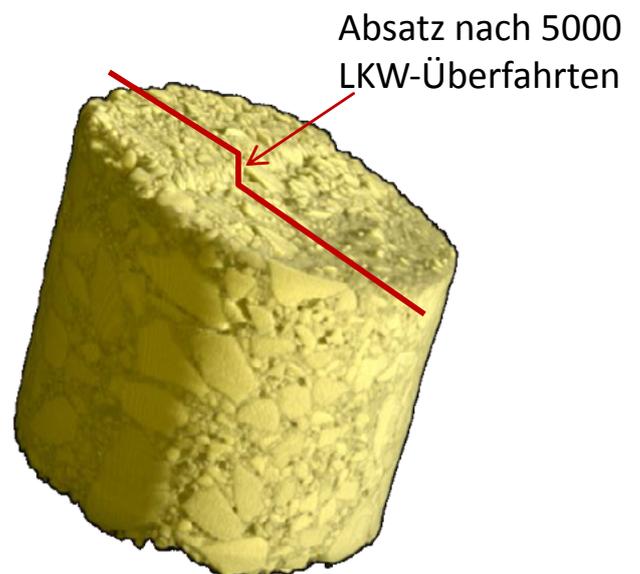
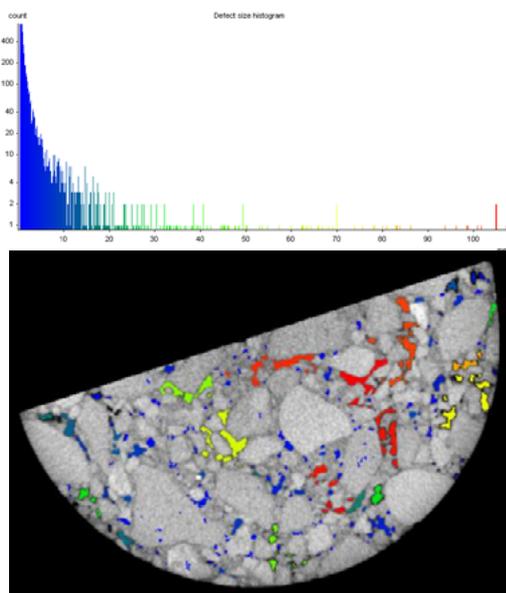


Abbildung 5: Porositätsauswertung an einer Asphaltprobe

F&E Neue Prüfverfahren und Erkenntnisse

# Beton – Performance und Dauerhaftigkeit

Mag. (FH) DI Dr. Stefan Krispel  
Smart Minerals GmbH, *Wien*

## BETON

### Performance und Dauerhaftigkeit

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

Der Widerstand und die Unempfindlichkeit von Baustoffen, Querschnitten und Bauteilen eines Bauwerkes gegenüber Umwelteinflüssen hängen einerseits von der Art und Intensität des Angriffes und andererseits von den Eigenschaften des Betons ab. Unter Dauerhaftigkeit wird ein befriedigendes bzw. bedingungsgemäßes Verhalten hinsichtlich Sicherheit, Gebrauchsfähigkeit und Ästhetik während der angestrebten Nutzungsdauer verstanden. Auf welche Weise dieses angestrebte Verhalten eines Bauwerkes erreicht wird, hängt sowohl von der Bemessungsphilosophie als auch von Wirtschaftlichkeitsüberlegungen ab. In die Wirtschaftlichkeitsüberlegungen müssen neben den Herstellungskosten auch die Kosten für Wartung und Instandhaltung einbezogen werden [1].

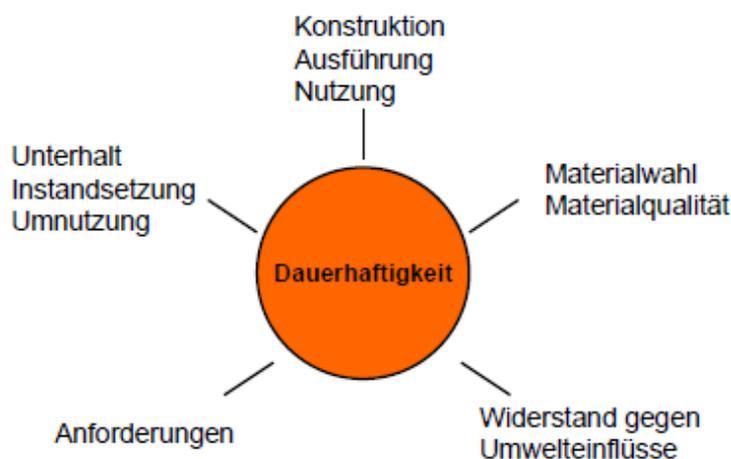


Abbildung 1: Wirkungsmodell Dauerhaftigkeit nach [1]

Bei der Planung eines Bauwerkes muss der Dauerhaftigkeitsaspekt gebührend berücksichtigt werden, um die Kosten für später notwendige Instandsetzungsmaßnahmen zu minimieren und die Gebrauchsfähigkeit langfristig sicherzustellen.

Grundsätzlich kann nachstehende Definition angenommen werden [2]:

Dauerhaftigkeit von Beton bedeutet, dass Bauteile aus Beton über die vorgesehene Nutzungsdauer gegenüber allen Einwirkungen (Lasten, Zwänge aus Verformungen, Umwelteinflüsse) bei ausreichender Wartung und Instandhaltung genügend beständig sind.

Zu den äußeren Einflüssen auf die Dauerhaftigkeit zählen:

- Feuchtigkeit,
- Temperatur,
- Verunreinigungen von Luft, Wasser und Boden
- chemischer Angriff,
- mechanischer Angriff,
- biologischer Angriff.

Für eine adäquate Dauerhaftigkeit ist – unter anderem – erforderlich:

- entsprechende Auswahl der Ausgangsstoffe
- fachgerechte und anforderungsadäquate Betonzusammensetzung

Die Dauerhaftigkeit lässt sich nicht durch einen einheitlichen Mess- oder Kennwert charakterisieren. Für jeden Anwendungsfall muss eine Quantifizierung der einzuhaltenden Parameter erfolgen [2].

Die Dauerhaftigkeit eines Betons gibt den Widerstand gegenüber Einwirkungen (z.B. Frostwiderstand, Karbonatisierungswiderstand) an. Diese Widerstandsfähigkeit wird zurzeit überwiegend durch eine Beschreibung der Zusammensetzung (deskriptives System, design concept) gewährleistet [2]. Dies bedeutet, Angaben bezüglich:

- Zementart
- Zement/Bindemittelgehalt
- W/Z- bzw. W/B-Wert

Analog normativer Vorgaben wird am Festbeton, z.B. im Rahmen von Konformitätsprüfungen, üblicherweise nur die Druckfestigkeit nachgewiesen

Als alleiniger Kennwert für die Dauerhaftigkeit ist die Festigkeitsprüfung als klassische Prüfmethode der Qualität eines Baustoffes heute nicht mehr geeignet. Erst in der Verwirklichung des sogenannten performance concepts / performance based concepts, das eindeutig nachprüfbar Leistungsmerkmale in den Vordergrund stellt, kann eine sichere Beurteilung von Dauerhaftigkeitseigenschaften erfolgen [2].

[1] Thienel, Werkstoffe des Bauwesens, Dauerhaftigkeit von Beton, München.

[2] Stark, Wicht, Dauerhaftigkeit von Beton

F&E Aktuelle Forschungsprojekte

# Prüfverfahren zur besseren Abschätzung der Dauerhaftigkeit von Kompositzementen

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



## Prüfverfahren zur besseren Abschätzung der Dauerhaftigkeit von Kompositzementen

Mag. Dr. Helga Zeitlhofer, DI Dr. Martin Peyerl (Smart Minerals GmbH)

Beton ist nach Wasser das am häufigsten verwendete Material weltweit. Im Jahr 2013 wurden in Europa gemäß ERMCO Statistiken (Europäische Transportbeton Organisation) 338 Millionen Kubikmeter Beton produziert, was einem Umsatz von 9.656 Mio. € entspricht.

Wegen der unterschiedlichen klimatischen Bedingungen und den darauf beruhenden nationalen Erfahrungswerten mit Beton ist die Europäische Betonnorm EN 206 nicht harmonisiert. Das heißt, dass die Vorschriften für die Anwendung von verschiedenen Betonsorten und die Verwendung verschiedener Zemente in diesen Betonsorten in Europa nicht einheitlich sind. Jedem Mitgliedstaat ist erlaubt, eigene (Anwendungs-) Dokumente für Beton und dessen Zusammensetzung mit Bezug auf die EN 206 zu veröffentlichen. Während Zemente bzw. deren Eigenschaften europäisch einheitlich genormt sind, gibt es für die Einführung neuer Zemente in lokale Märkte ohne entsprechende Erfahrung in der Anwendung dieser Bindemittel in jedem Mitgliedsstaat eigene technische Zulassungsprüfungen bzw. gleichwertige Nachweise, die zu erfüllen sind. Meist beinhalten diese Prüfungen Dauerhaftigkeitsnachweise an Beton.

Zementhersteller, die neue klinkereffiziente und ökologisch vorteilhafte Zemente entwickeln, brauchen daher Werkzeuge zur Vorhersage, ob diese neuen Produkte diese Beurteilungskriterien für Zement oder Beton erfüllen werden. Im Zuge des CORNET Forschungsprojekts DURAFOR werden gemeinsam mit den Projektpartnern VDZ (Verein Deutscher Zementwerke), CRIC-OCCN (National Belgium Research Centre for the Cement Industry) und der Smart Minerals GmbH charakteristische Werte von Zementen untersucht und eine Korrelation zu Dauerhaftigkeitseigenschaften hergestellt. Mit Hilfe dieser Daten wird die Einschätzung der Leistungsfähigkeit von neuen Klinkerwerkstoffen erleichtert und Neuentwicklungen bzw. Markteinführungen kostengünstiger.

Hauptziel des Forschungsprojekts ist es mithilfe relativ schnell zu bestimmenden Zementstein- und Mörtelparametern eine Korrelation zu späteren Dauerhaftigkeitsparametern von Beton zu finden.

F&E Aktuelle Forschungsprojekte

# Immobilisierung von Schwermetallen in Recyclingbetonen

**DI Birgit Achleitner**

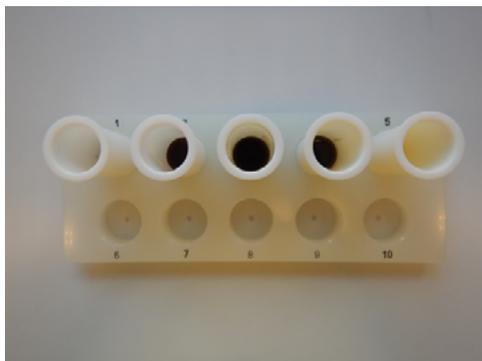
Smart Minerals GmbH, *Wien*

## Immobilisierung von Schwermetallen in Recyclingbetonen

*DI Birgit Achleitner, DI Dr. Martin Peyerl, Mag (FH) DI Dr. Stefan Krispel  
 (Smart Minerals GmbH)*

Mit der Veröffentlichung der EU Bauprodukteverordnung hat die Europäische Kommission unter anderem die Sicherheit und Energieeinsparung sowie den Umweltschutz bzw. die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen als Anforderung an Bauwerke definiert. Bei der Herstellung von Beton ist beispielsweise der Ersatz natürlicher Gesteinskörnungen durch industrielle Reststoffe und Recycling-Gesteinskörnungen möglich und erwünscht. Dies erlaubt einerseits die Schonung natürlicher Ressourcen und die Reduktion enormer Mengen Abfall, andererseits ist die Kenntnis der enthaltenen gesundheits- und umweltrelevanten Schwermetalle erforderlich, welche sich nicht negativ auf die Produktqualität und Sicherheit auswirken dürfen. Deshalb ist es für die Bauindustrie von außerordentlicher Wichtigkeit die Vor- und Nachteile alternativer Rohstoffe für die Betonproduktion zu evaluieren. Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es deshalb, einerseits die Umwelteigenschaften für österreichische Betone, also für das Endprodukt und nicht die Ausgangsstoffe zu charakterisieren und andererseits die Freisetzung von Schwermetallen aus dem Beton durch gezielte Modifizierung des Betons gegebenenfalls zu verringern.

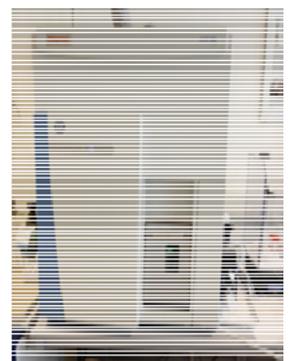
Um das Recyclingpotential unterschiedlicher Gesteinskörnungen zu bewerten und ihren Anwendungsbereich zu erweitern, wurden in einem ersten Schritt die Rohmaterialien eingehend untersucht. Neben grundlegenden chemischen und physikalischen Eigenschaften wurden außerdem die Spurenelemente, beispielsweise Arsen, Chrom, Blei, etc. in den Ersatzrohstoffen (im Feststoff und im Eluat) bestimmt. Hierfür wurde eine zuverlässige Messmethode mittels ICP-MS (Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma) entwickelt.



a) Aufschlusslösungen ausgewählter Ersatzrohstoffe



b) Messlösungen für die ICP-MS



c) ICP-MS

**Abbildung 1**

Basierend auf diesen Ergebnissen werden im folgenden Projektabschnitt geeignete Ersatzrohstoffe ausgewählt. Anschließend ist es notwendig die betontechnologische Eignung der alternativen Gesteinskörnungen den Umwelteigenschaften der hergestellten Betone gegenüberzustellen, wobei außerdem gezielt das Porengefüge der Betone modifiziert wird. Somit wird eine wichtige Grundlage für die Bewertung und Anwendung von Recyclingbeton geschaffen.

F&E Aktuelle Forschungsprojekte

# Eigenschaften moderner Brückenbaubetone

**DI Gerald Maier**

Smart Minerals GmbH, *Wien*

**Kurztext Kolloquium 2018****Vortragender: DI Gerald Maier****Titel: „Eigenschaften moderner Brückenbaubetone“***Einleitung und Kurzbeschreibung*

Im Vorfeld des Projektes bestand die Vermutung, dass die durch Aushärten und Austrocknen bedingte Entwicklung der Materialeigenschaften moderner österreichischer Betone mit den Formelwerken des geltenden Eurocode 2 (ÖNORM B 1992-1-1) wesentlich weniger zuverlässig beschrieben werden können, als die Materialeigenschaften der früher verwendeten Portlandzement-Betone. Im Rahmen des Forschungsprojekts „Österreichische Beton Benchmark – Oebb“ wurde daher gemeinsam mit Partnern (TU-Wien, BOKU, Vill ZT-GmbH) die charakteristische Frühzeitentwicklung moderner österreichischer Konstruktionsbetone der Betonsorte B5 charakterisiert. Teilergebnisse der durch die Smart Minerals GmbH durchgeführten Standardversuche werden vorgestellt und ein Vergleich mit den geltenden Formelwerken des Eurocode 2 durchgeführt.

Folgende Betonsorten von typischen Brückenbaubetonen wurden für die Untersuchungen herangezogen:

- Betonsorte 1: C30/37/F52/ GK22/B5
- Betonsorte 2: C35/45/F52/ GK22/B5
- Betonsorte 3: C40/50/F52/ GK22/B5

Die Betonsorten wurden mit Luftgehalten von 2 % und 6 % (untere sowie obere Grenze für Betonsorte B5 gemäß Tabelle B.5 Identitätskriterien ÖNORM B 4710-1) sowie mit quarzitischer als auch karbonatischer Gesteinskörnung hergestellt um so die mögliche Varianz der Betonsorte B5 in Österreich abzubilden.

*Ergebnisse***Rezeptur**

Aus den der Smart Minerals GmbH zu Verfügung stehenden Daten wurden die Rezepturen für Betonsorten der Festigkeitsklasse C30/37, C35/45 und C40/50/B5, die das Spektrum der in Österreich verwendeten Gesteinskörnungen und Bindemittelarten abdecken, definiert. In Tabelle 1 sind diese Leitrezepturen zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 1: Leitrezepturen Konstruktionsbetone Österreich

Rezepturen	C30/37/F52/GK22/B5	C35/45/F52/GK22/B5	C40/50/F52/GK22/B5
Zementsorte	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N WT38	CEM II/A-S 42,5 R	CEM I/52,5 R
W/B-Wert	0,48	0,45	0,42
Zement [kg/m <sup>3</sup> ]	320	410	420
AHWZ [kg/m <sup>3</sup> ]	40	0	0
Zielwert Luftgehalt [%]	2,0 / 6,0	2,0 / 6,0	2,0 / 6,0

**Druckfestigkeit**

Grundsätzlich erfüllen die hergestellten Betonsorten die Anforderung an die Druckfestigkeit für eine Konformitäts- bzw. ID-Prüfung auf der Baustelle.

Alle Betone zeigen einen typischen Festigkeitsverlauf. Betrachtet man die Festigkeiten bei höheren Luftgehalten zeigt sich, dass sich höhere Festigkeitsklassen insbesondere durch einen kleineren Festigkeitsabfall bei höheren Luftgehalten auszeichnen.

Durch eine Reduktion des Luftgehalts von 6 auf 2 % steigen die Festigkeiten beim C30/37 um durchschnittlich 40 % oder 11,6 N/mm<sup>2</sup> (MW über alle Prüfzeitpunkte) innerhalb der ersten 28 Tage. Das bedeutet eine Festigkeitsabnahme von 3,3 N/mm<sup>2</sup> pro zusätzliches Prozent Luft im Beton. Bei

quarzitische Gesteinskörnung unterscheiden sich die Festigkeiten um 54 % oder 13,2 N/mm<sup>2</sup>. Die durchschnittliche Abnahme der Festigkeit je Prozent Luft ist mit 3,1 N/mm<sup>2</sup> vergleichbar. In Tabelle 2 sind die weiteren Festigkeitsverluste bei den höherwertigen Betonsorten zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 2: Festigkeitsverluste durch Zunahme des Luftgehalts

	Luft-gehalt 1	Luft-gehalt 2	Gesteins-körnung	MW Festigkeits-zunahme [%] 1- 28d	MW Festigkeits-zunahme [N/mm <sup>2</sup> ] 1- 28d	Zunahme der Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> % <sub>Luft</sub> ]
C30/37/B5	2,0%	5,5%	karbonatisch	40%	11,6	3,3
C30/37/B5	1,9%	6,2%	quarzitisch	54%	13,2	3,1
C35/45/B5	2,3%	5,6%	karbonatisch	18%	6,1	1,9
C35/45/B5	2,4%	6,4%	quarzitisch	32%	9,9	2,5
C40/50/B5	2,3%	6,0%	karbonatisch	24%	10,9	2,9
C40/50/B5	2,3%	5,6%	quarzitisch	15%	6,9	2,1

Gemäß Tabelle 2 nehmen bei höheren Festigkeitsklassen die Festigkeitsunterschiede zwischen hohem und niedrigem Luftgehalt ab. Während beim C30/37 die Festigkeit zwischen niedrigem und hohem Luftgehalt noch um 40 bzw. 54 % abnehmen betragen die Verluste beim C35/45 bei 18 bzw. 32 % und beim C45/50 nur noch 24 bzw. 15 %.

In Tabelle 2 wird das Verhältnis zwischen der 1- und 28-Tagesfestigkeit und der 7- und 28-Tagesfestigkeit dargestellt.

Tabelle 2: Verhältnisse der Festigkeiten zwischen 1- und 28- sowie 7- und 28-Tagesfestigkeiten

Betonart	Zementart	Festigkeitsentwicklung	
		1/28 Tage	7/28 Tage
C30/37/B5/W55/GK22/F52	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N WT38	40%	76%
C35/45/B5/GK22/F52	CEM II/A-S 42,5 R	49%	84%
C40/50/B5/GK22/F52	CEM I/52,5 R	73%	90%

Bei der Festigkeitsentwicklung hat insbesondere die verwendete Zementart einen entscheidenden Einfluss. Während bei der Festigkeitsklasse C30/37 (CEM II/A 42,5 N) nach einem Tag 40 % und nach sieben Tagen 76 % der 28 Tages Festigkeit erreicht wurden, weist die Betonart C35/45/B5 bei Verwendung eines CEMII/A 42,5 R bereits 49 bzw. 84 % und die Betonart C40/50 bei Verwendung eines CEM I 52,5 R nach einem Tag bereits 73 % und nach 7 Tagen bereits 90 % der 28 Tages Festigkeit auf. In Abbildung 1 ist die Prognose gemäß ÖNORM EN 1992-1-1 und der tatsächlich geprüfte Festigkeitsverlauf dargestellt

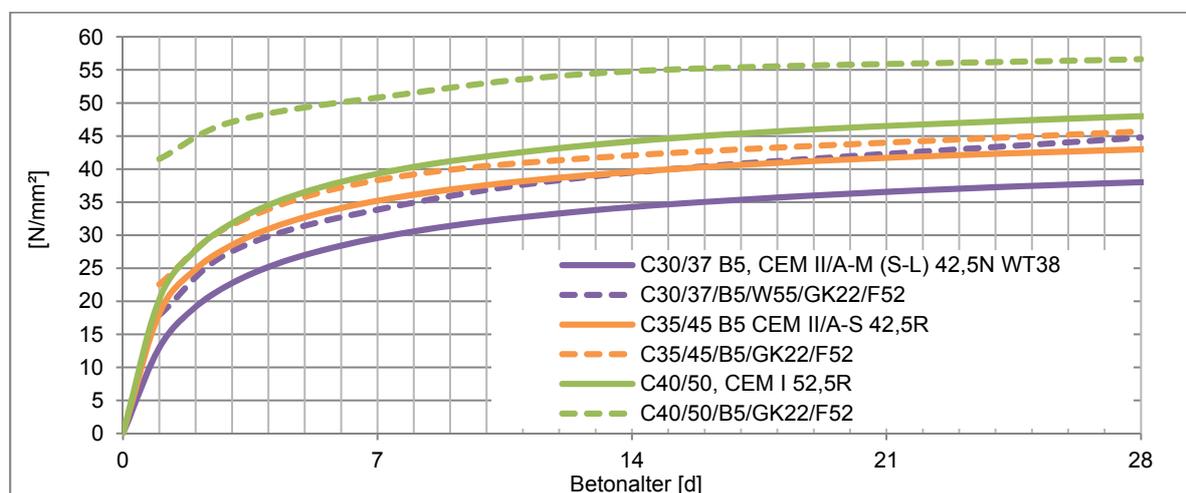


Abbildung 1: Verlauf der prognostizierten (durchgehende Linien) zum tatsächlich festgestellten Verlauf der Druckfestigkeit (Mittelwert der 4 Rezepturen je Betonsorte – 2 Luftgehalte, 2 Gesteinskörnungen)

Grundsätzlich wird der Verlauf der Festigkeitsentwicklung durch den Formelkörper gemäß Eurocode 2 sehr gut beschrieben. Beispielsweise entspricht die Vorhersage gemäß Eurocode beim C30/37/B5/W55/GK22/F52 genau den tatsächlich geprüften Festigkeitswerten. Für niedrigere Luftgehalte von nur ca. 2 % wird die Festigkeit unterschätzt. Für sehr hohe, an der Obergrenze für einen B5 gelegene Luftgehalte von ca. 6 % bei Verwendung quarzitischer Gesteinskörnung, wird die Festigkeitsentwicklung jedoch (13 % beim 28-Tageswert) überschätzt. Werden die Mittelwerte der Druckfestigkeiten der 4 Serien je Rezeptur (2 Luftgehalte, 2 Gesteinskörnungen) gebildet und mit den Prognosen verglichen (siehe Abbildung 1) werden alle Betonsorten gemäß Eurocode unterschätzt, wobei der Fehler umso größer ist, je höher die Druckfestigkeitsklasse der Betonsorte ist.

### E-Modul

Es zeigt sich, dass die größten Unterschiede in der Geschwindigkeit der Entwicklung des E-Moduls liegen. Während bei der Festigkeitsklasse C30/37 nach einem bzw. 7 Tagen erst 65 bzw. 88 % des 28 Tage E-Moduls vorliegen, liegen bei der Betonsorte C40/50/B5 bereits 81 % nach 1 Tag und 94 % nach 7 Tagen vor. Der C35/45/B5 liegt dazwischen. In Tabelle 3 sind die Verhältnisse von 1 und 7 Tageswerten gegenüber den 28 Tageswerten berechnet.

Tabelle 3: Verhältnisse der E-Module zwischen 1- und 28- sowie 7- und 28-Tage

Betonsorte	Zementsorte	Stat- E-Modulentwicklung	
		1/28 Tage	7/28 Tage
C30/37/B5/W55/GK22/F52	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N WT38	65%	88%
C35/45/B5/GK22/F52	CEM II/A-S 42,5 R	69%	90%
C40/50/B5/GK22/F52	CEM I/52,5 R	81%	94%

Der bereits bei den Druckfestigkeiten in Tabelle 1 festgestellte Trend bestätigt sich beim E-Modul. Die größten Unterschiede zwischen den Luftgehalten können bei den niedrigeren Festigkeitsklassen festgestellt werden. Je Prozent weniger Luft im Beton steigt der E-Modul durchschnittlich für alle Betonsorten um 1300 N/mm<sup>2</sup>. In Tabelle 4 ist die Zunahme des E-Moduls bei niedrigeren Luftgehalten für alle Betonsorten zusammengefasst.

Tabelle 4: Verlust des E-Moduls durch Zunahme des Luftgehalts

	Luftgehalt 1	Luftgehalt 2	Gesteins- körnung	Mittlere Festigkeits- zunahme [%] 1- 28d	Mittelwert der Zunahme des E-Moduls [Nmm <sup>2</sup> ] 1- 28d	Zunahme des E- Moduls [N/mm <sup>2</sup> % <sub>Luft</sub> ]
C30/37/B5/W55/GK22/F52	2,0%	5,5%	karbonatisch	15%	4200,0	1200
C30/37/B5/W55/GK22/F52	1,9%	6,2%	quarzitisch	31%	7960,0	1850
C35/45/B5/GK22/F52	2,3%	5,6%	karbonatisch	18%	4800,0	1450
C35/45/B5/GK22/F52	2,4%	6,4%	quarzitisch	17%	4780,0	1200
C40/50/B5/GK22/F52	2,3%	6,0%	karbonatisch	17%	5240,0	1400
C40/50/B5/GK22/F52	2,3%	5,6%	quarzitisch	7%	2320,0	700

Der Verlauf der Vorhersage des Eurocodes ist grundsätzlich den tatsächlich festgestellten Verläufen des E-Moduls sehr ähnlich. Bei der Festigkeitsklasse C30/37 beschreibt der Verlauf des E-Moduls am ehesten den Verlauf der hohen Luftgehalte – wobei die Einschätzung am besten zu karbonatischer Gesteinskörnung passt. Beim C35/45 passt die Vorhersage hingegen zu den niedrigeren Luftgehalten während beim C40/50 wiederum die hohen Luftgehalte beschrieben werden. Werden die Mittelwerte aus den 4 Serien je Rezeptur (2 Luftgehalte und 2 Gesteinskörnungen) mit den Prognosen gemäß Eurocode verglichen ergibt sich folgendes in Abbildung 2 dargestelltes Bild.

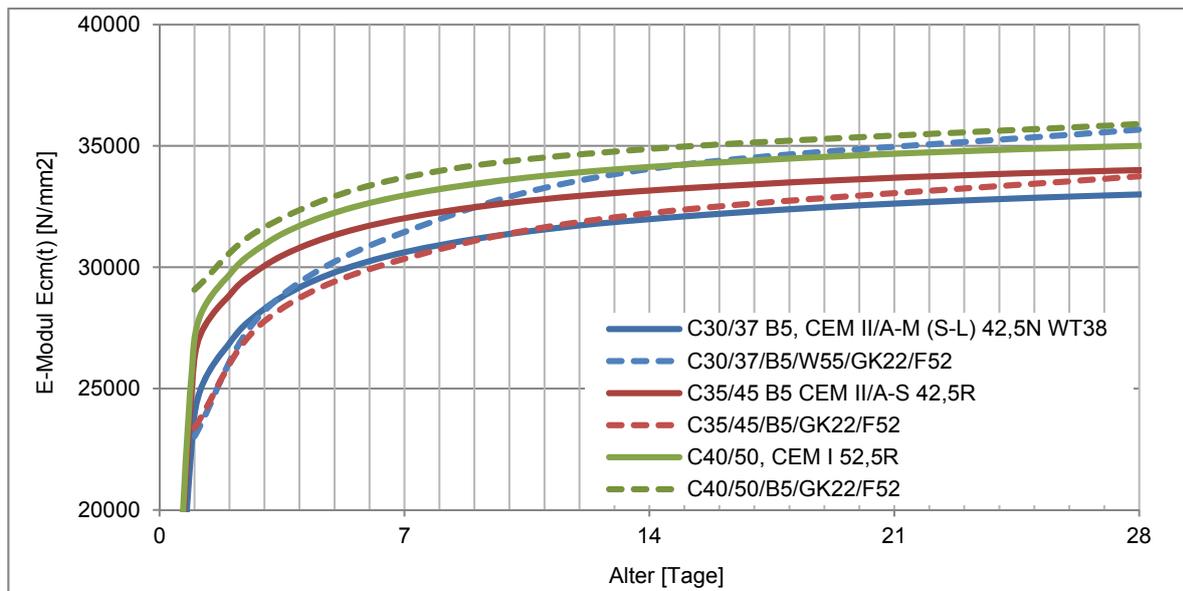


Abbildung 2: Verlauf der prognostizierten (durchgehende Linien) zum tatsächlich festgestellten Verlauf der Druckfestigkeit (strichliert, Mittelwert der 4 Rezepturen je Betonsorte – 2 Luftgehalte, 2 Gesteinskörnungen)

### Schwinden

Die Schwindmessung wurde in einem Betonalter von 24h bis 26 Wochen durchgeführt. Die Probekörperlagerung erfolgte in den ersten 24 h in der Schalung. Danach wurden die Balken offen und unversiegelt bei 20 °C und 65 % Luftfeuchte gelagert. Gemäß den Lagerungsbedingungen wird daher das Trocknungsschwinden sowie das autogene Schwinden nach 24 h bestimmt. In Tabelle 5 sind die festgestellten Schwindwerte zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 5: Schwinddehnungen sortiert nach der Größe

Betonsorte	GK	Zement	Luft [%]	Dehnung 26 Wochen [‰]
C35/45/B5/GK22/F52	karbonatisch	CEM II/A-S 42,5 R	6,0	-0,58
C35/45/B5/GK22/F52	quarzitisch	CEM II/A-S 42,5 R	6,0	-0,56
C35/45/B5/GK22/F52	quarzitisch	CEM II/A-S 42,5 R	2,4	-0,53
C35/45/B5/GK22/F52	karbonatisch	CEM II/A-S 42,5 R	2,4	-0,47
C30/37/B5/W55/GK22/F52	karbonatisch	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N WT38	5,9	-0,46
C40/50/B5/GK22/F52	quarzitisch	CEM I 52,5 R	5,8	-0,43
C30/37/B5/W55/GK22/F52	quarzitisch	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N WT38	5,9	-0,41
C40/50/B5/GK22/F52	karbonatisch	CEM I 52,5 R	5,6	-0,39
C40/50/B5/GK22/F52	quarzitisch	CEM I 52,5 R	2,3	-0,38
C30/37/B5/W55/GK22/F52	quarzitisch	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N WT38	2,3	-0,38
C40/50/B5/GK22/F52	karbonatisch	CEM I 52,5 R	2,4	-0,35
C30/37/B5/W55/GK22/F52	karbonatisch	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N WT38	2,1	-0,31

Generell werden die höchsten Schwindmaße vom Beton C35/45/B5 mit hohem Wassergehalt, hohen Luftgehalten und Zementen mit Hüttensand als Zumahlstoff erreicht.

Der Luftgehalt hat ebenfalls einen großen Einfluss. Die höchsten Schwindmaße der Betonsorte C35/45/B5 werden von den Mischungen mit hohem Luftgehalt erreicht. Das Schwindverhalten wird bei höheren Luftgehalten offensichtlich durch erhöhte Porosität des Zementsteins und verstärktem inneren Austrocknen verschlechtert oder zumindest beschleunigt.

Es wurde eine hohe Übereinstimmung der Vorhersage des Schwindens durch den Eurocode zu den tatsächlich festgestellten Bauteilverkürzungen festgestellt. Beim C30/37 liegt die Vorhersage im Mittelfeld der geprüften Kurven. Beim C35/45 wird das Schwinden unterschätzt und die Vorhersage überlappt sich am mit den Kurven bei niedrigen Luftgehalten. Umgekehrt beim C40/50: Hier wird das Schwinden eher überschätzt und die Kurve bewegt am ehesten im Bereich der festgestellten Schwindkurven für die hohen Luftgehalte.

F&E Aktuelle Forschungsprojekte

# Vergleich des Kriechens und Schwindens großformatiger Betonkörper mit theoretischen Modellen

**DI Dominik Suza, PhD**

TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen, *Wien*

# Vergleich des Kriechens und Schwindens großformatiger Betonkörper mit theoretischen Modellen

**Dominik Suza, Johann Kollegger**

*Technische Universität Wien*

*Institut für Tragkonstruktionen - Betonbau*

*Karlsplatz 13, E 212-2*

*A-1040 Wien*

*dominik.suza@tuwien.ac.at*



## 1. Einleitung

Damit ästhetische und nachhaltige Konstruktionen aus Stahl- oder Spannbeton entworfen werden können, ist es notwendig ein realistisches und praktisches Modell zur Beschreibung des Kriechens und Schwindens zur Verfügung zu haben.

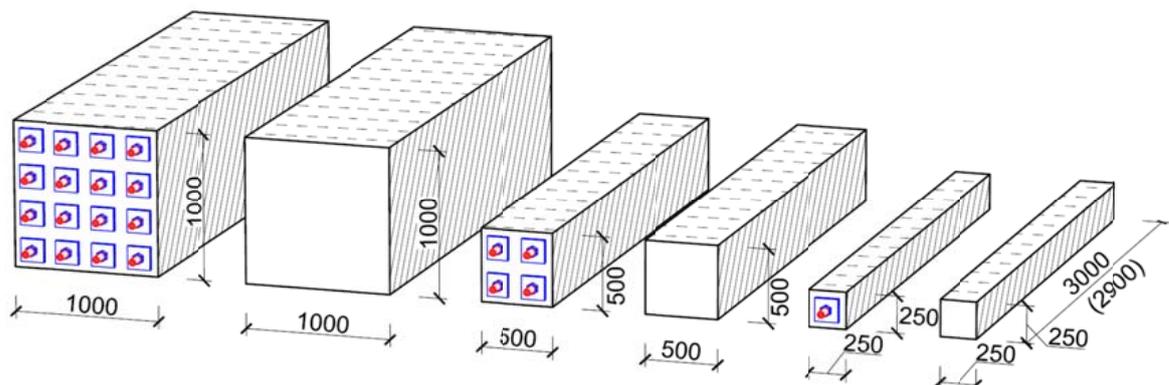
Normalerweise erfolgt die Messung des Kriechens und Schwindens von Beton an normierten Betonzylindern mit einem Durchmesser von 150 mm und mit einer Höhe von 300 mm im Labor. Die Laborumgebung gewährleistet eine annähernd konstante Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Die Messung der Probekörper im Labor dauert meist nur ein paar Monate. Die Messergebnisse werden danach im logarithmischen Maßstab extrapoliert und das Experiment ist somit beendet. Es wird hierbei vorausgesetzt, dass diese kleinen Laborproben, die nur ein paar Monate belastet werden, das Verhalten des Betons, beispielsweise einer weitgespannten Freivorbaubrücke, über einen Zeitraum von einhundert Jahren beschreiben können.

Ein Monitoring von realen Brücken kann die tatsächliche Entwicklung von Durchbiegungen der Tragkonstruktionen und die Dehnungen und Stauchungen des Betons zeigen. Leider ist die Auswertung und die Interpretation der Ergebnisse sehr kompliziert, weil es praktisch unmöglich ist, aus den Messergebnissen die einzelnen Effekte zu separieren. Einerseits wirken Kriechen, Schwinden und Temperatureinflüsse gleichzeitig und andererseits werden die Auswertungen durch Faktoren wie unterschiedliches Alter und Eigenschaften des Betons, Spannkraftverluste unbekannter Größe, Rissbildung, Verkehrslasten, große Schwankungen der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit, Sonnenstrahlung, Regenwasser, etc. zusätzlich erschwert.

Die Idee des Forschungsprojekts „Kriechen & Schwinden“, welches an der Technischen Universität Wien in Kooperation mit dem Karlsruhe Institute of Technology (KIT) durchgeführt wird, ist es, die zwei beschriebenen Situationen zu kombinieren (die Laborexperimente und das Monitoring an realen Konstruktionen) und dadurch die Vorteile der beiden Ansätze zu nutzen.

## 2. Projekt Kriechen & Schwinden

Der experimentelle Teil des Forschungsprojekts Kriechen und Schwinden besteht aus vier Probeserien. Jede Probeserie setzt sich aus sechs großformatigen Betonprobekörper (siehe Abb. 1) und einer Vielzahl aus normgemäßen Probezylindern und Probewürfeln zusammen. Die Abmessungen der großformatigen Betonkörper wurden in Anlehnung an die Dimensionen realer Konstruktionen gewählt.



**Abb. 1** Abmessungen [mm] einer Versuchsserie: Die Hälfte der großformatigen Betonkörper ist vorgespannt.

Alle großformatigen Probekörper werden durch die gleichen rheologischen Effekte beeinflusst, aber nur eine Hälfte der Probekörper ist vorgespannt. Die Vorspannkraft, die durch Spannstangen aufgebracht wurde, bewirkt eine konstante Druckspannung von 10 MPa im Beton. Die Spannstangen haben an den Enden aufgerollte Feingewinde um die Spannkraftverluste infolge Schlupf zu vermindern (siehe Abb. 2). Gleichzeitig ermöglicht das feine Gewinde ein präzises Nachspannen, wenn die zeitabhängigen Spannkraftverluste um mehr als um 5% von der angegebenen Vorspannkraft abweichen.

Die Stauchungen/Dehnungen des Betons werden mit Schwingsaitensensoren gemessen, die in die großformatigen Betonkörper einbetoniert wurden. Die Sensoren messen nicht nur die Dehnungen, sondern auch die Temperatur in den Bauteilen. Ein großer Vorteil dieser Messmethode ist es, dass die Probekörper gleich vom Zeitpunkt der Betonage an überwacht werden konnten.

Eine wichtige Zielvorgabe des Projekts war es, realistische Baustellenbedingungen zu simulieren. Aus diesem Grund wurde die Baufirma angewiesen, die Schalungsarbeiten, die Betonage und die Betonbehandlung analog zu einer normalen Baustelle durchzuführen.

Um die realen Umgebungsbedingungen zu simulieren, wurde entschieden die großformatigen Probekörper einer veränderlichen Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windströmung auszusetzen. Direkte Sonnenstrahlung oder direkte Wassereexposition durch Regen sollte allerdings verhindert werden (siehe Abb. 3).



**Abb. 2** Installation einer Kraftmessdose und Dehnmessstreifen an der Spannstange eines kleinen Probekörpers



**Abb. 3** Lagerung der großformatigen Betonkörper der Serien S3 und S4 im Freien (vor der Installation des Sonnenschutzes)

Im ersten Jahr des Forschungsprojekts haben sich bereits einige interessante Phänomene gezeigt, wie z. B. der Einfluss der veränderlichen Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Entwicklung des Kriechens nach der Belastung, oder der Einfluss der Abmessungen des Bauteils auf den resultierenden Elastizitätsmodul des Betons.

### 3. Danksagung

Dieses Forschungsprojekt wird von der Österreichischen Bautechnik Vereinigung (ÖBV) betreut. Ein großer Dank gilt den Sponsoren: Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG), Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktiengesellschaft GmbH (ASFINAG), ÖBB Infrastruktur AG, Rohrdorfer Baustoffe Austria GmbH, ARGE Beton Innsbruck, Swietelsky Baugesellschaft m.b.H., Strabag AG, Porr Bau GmbH, HABAU Hoch- und Tiefbaugesellschaft m.b.H., Implenia Baugesellschaft m.b.H., ÖSTU-STETTIN Hoch- und Tiefbau GmbH, Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZ) und Güteverband Transportbeton (GVTB).

Für die tolle Kooperation bei der Realisierung des Projekts möchten wir uns weiters bedanken bei: Franz Oberndorfer GmbH & Co KG, RED Bernard GmbH, Swietelsky Baugesellschaft m.b.H. und Ing. Hans Lang GmbH.

F&E Umsetzung der Bauteilaktivierung

# Energiespeicher Beton: Aktuelle Monitoring-Ergebnisse von einem Einfamilienhaus

**DI Sebastian Spaun**

Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, *Wien*

## Energiespeicher Beton:

### Aktuelle Monitoring-Ergebnisse von einem Einfamilienhaus

DI Sebastian Spaun, VÖZ

Einer der wesentlichen Inhalte des Monitoringprojekts ist der Vergleich der Messdaten mit den projektierten Aufwendungen für das Energieversorgungssystem (mit Wind(überschuss)strom), gesplittet nach Heizung/Kühlung und Warmwasserbereitstellung. Des Weiteren überprüft wurde das Gebäude hinsichtlich seiner Funktionalität und seines Temperaturverhaltens, der Anteile und Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie sowie deren zeitliche Verteilung.

Erfahrungen mit der selbstregulierenden Anlagensteuerung wurden gesammelt und analysiert.

### Haus H

Die Planung von Haus H war Grundlage für den Leitfaden zur Thermischen Bauteilaktivierung<sup>1)</sup>, das Gebäude ist dort umfassend beschrieben: Die Gebäudehülle ist in Passivhaus-Qualität ausgeführt. Darüber hinaus wurden die Lüftungsverluste durch den Einbau einer Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung reduziert. Außer einem Anschluss an das öffentliche Stromnetz sind keine weiteren Anschlüsse zur Energieversorgung vorhanden. Die Wärmebereitstellung erfolgt über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe. Der benötigte Erdkollektor ist in einer Tiefe von 1,2 m verlegt und hat eine Länge von 2 x 100 m bei einem Verlegeabstand von 0,6 m. Die resultierende Kollektorfläche beträgt somit 120 m<sup>2</sup>.



Die Nennwärmeleistung der Wärmepumpe wurde mit 6 kW gewählt und damit bewusst überdimensioniert, um in kurzen Windfreigabezeiten möglichst viel Energie im Gebäude speichern zu können. Die Wärmepumpe wird zur Warmwasserbereitung und zur Raumheizung herangezogen. Ein wasserbasierter Wärmespeicher für die Raumheizung ist nicht vorgesehen.



Die Wärmepumpe ist direkt an die aktivierten Betonbauteile angeschlossen. Als Wärmespeicher für die Warmwasserbereitung wird ein Pufferspeicher herangezogen. Über eine Frischwasserstation wird das benötigte Warmwasser im Durchlaufprinzip erwärmt. Das Pufferspeichervolumen beträgt 1.000 l.

### Messergebnisse Haus H

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Versorgung der Wärmepumpe für die Beheizung in den beiden gemessenen Wintern zu 80 % durch Überschüsse aus der Windstromproduktion erfolgt ist. Sowohl die Fernübertragung des Windsignals vom ca. 80 km entfernten Windpark Neuhof der WEB zur Heizungssteuerung via Mobilfunkverbindung (GSM) als auch die Freischaltung der Wärmepumpe (Überschusswind ja/nein) hat sich als problemlos erwiesen. Nur einmalig kam es im Nov. 2017 durch einen Blitzschlag im Bereich der Windparks zu einer kurzfristigen Störung des Signals. Der Fehler wurde durch die laufende Plausibilitätsprüfung der Messergebnisse rasch bemerkt und sofort behoben.

Im nachfolgenden Diagramm ist der Anteil des Windstroms der Wärmepumpe an die BTA und an den Warmwasserpuffer in kWh dargestellt. Klar ersichtlich sind die absolut niedrigeren Werte im zweiten Winter als Folge der Behebung von Baumängeln in der ersten Monitoringperiode. Der Fokus der Auswertung gilt dem Strom für die Wärmepumpe in den Wintern, die Warmwassererzeugung im Sommer erfolgt größtenteils mit konventionellem Strom, hier gilt es noch zu optimieren:

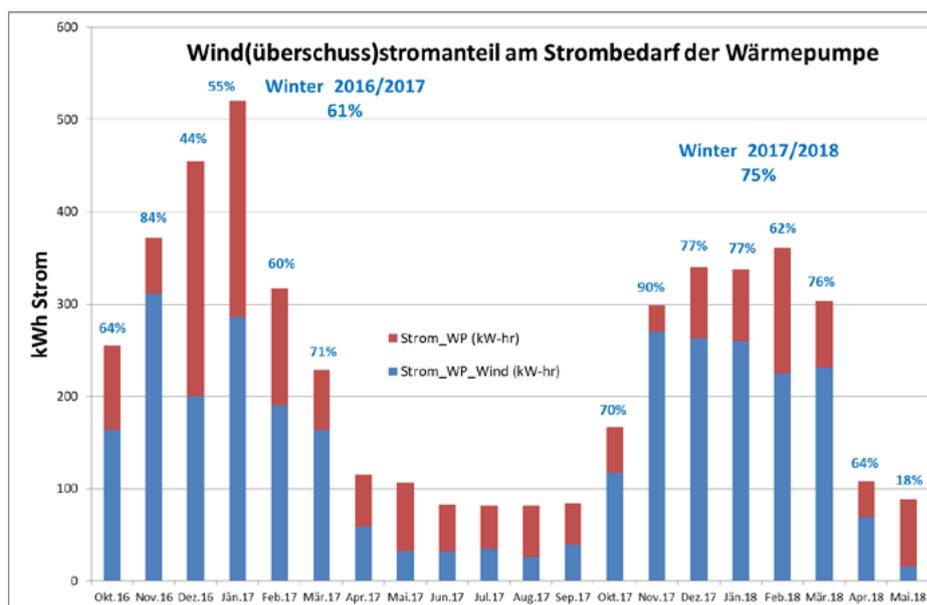


Abbildung 1: Anteil des Windstroms der Wärmepumpe an die BTA und an den Warmwasserpuffer in kWh

Da das gegenständliche Monitoringvorhaben auf das Potential der Bauteilaktivierung zur Steigerung des erneuerbaren Anteils am Heizwärmebedarf abzielt, wurde aus obiger Darstellung noch der Strombedarf für die Warmwasserbereitung herausgerechnet.

Die nachfolgende Grafik zeigt somit den Windüberschussanteil an der Stromversorgung der Wärmepumpe für die Bauteilaktivierung alleine.

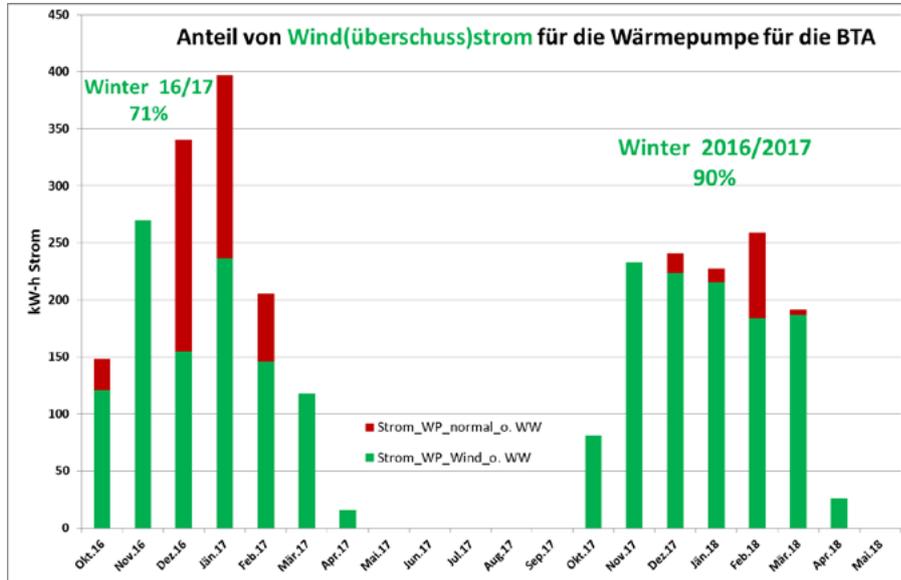


Abbildung 2: Energie für die Thermische Bauteilaktivierung Anteil aus Wind(überschuss)

### Raumtemperaturen

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen die insgesamt sehr ausgeglichenen Raumtemperaturen in Relation zu den Außentemperaturen. Ab dem 14. Oktober 2016 wurden die beiden Geschoßdecken (über EG und über OG) mittels der Thermischen Bauteilaktivierung (TBA) aktiv als Speicher bewirtschaftet.

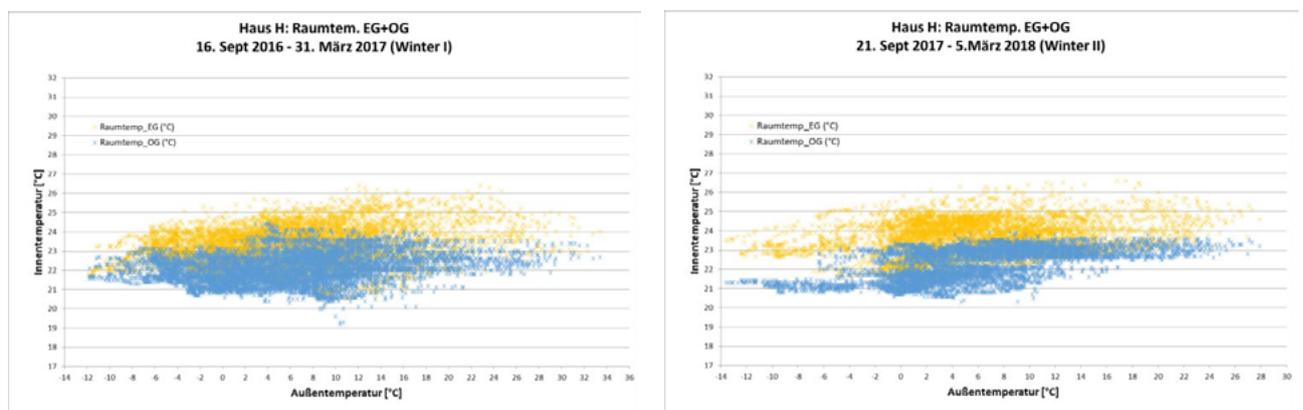


Abbildung 3: Temperaturkomfort Im Wohnzimmer (gelb) und Schlafzimmer (blau) im Winter 2016/2017 bzw. 2017/2018 (30 min Mittel)

Nachfolgend sind die Diagramme für den Temperaturkomfort in den beiden gemessenen Sommern dargestellt.

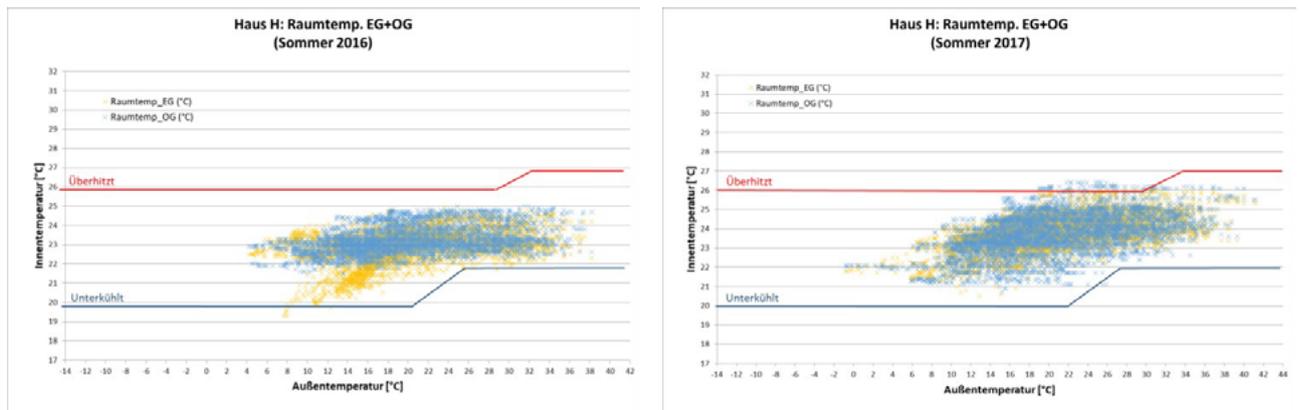


Abbildung 4: Temperaturkomfort im Wohnzimmer (gelb) und Schlafzimmer (blau) im Sommer 2016 bzw. 2017

## Ausblick

Das Potenzial der Bauteilaktivierung, Betonbauteile als Energiespeicher zu nutzen und somit als einfache Speichermöglichkeit zu etablieren, um den Anteil erneuerbarer Energie zu erhöhen, wurde voll erfüllt und konnte bestätigt werden. Derzeit werden in Wien und Niederösterreich Nachfolgeprojekte im großvolumigen Wohnbau errichtet, in denen ebenfalls Wind(-überschuss-)strom zum Einsatz kommt.

i) F. Friembichler, S. Handler, K. Kreč, H. Kuster: Energiespeicher Beton: Thermische Bauteilaktivierung, Planungsleitfaden Einfamilien- und Reihenhäuser, BMVIT/Zement+Beton Handels- und WerbegmbH, 1 Ausgabe, Juni 2016, Wien

F&E Umsetzung der Bauteilaktivierung

# Wohnpark Wolfsbrunn – Erste bauteilaktivierte Wohn- hausanlage in NÖ

**Ing. Jörg Hoffmann**

Erste Burgenländische Gemeinnützige  
Siedlungsgenossenschaft, *Pöttsching*

## Wohnpark Sommerein-Wolfsbrunn



Schaubild der Wohnhausanlage in Sommerein

(Quelle: AW/Architekten ZT GmbH)

In 2453 Sommerein, am Fuße des Leithagebirges wird durch die „Südraum“ eine Wohnhausanlage mit insgesamt 22 Wohnungen und 28 Reihenhäuser errichtet. Der Baubeginn erfolgte bereits im Mai 2018. Die Fertigstellung ist für Herbst 2019 geplant. Alle Wohneinheiten sind 2-Zimmerwohnungen mit ca. 60 m<sup>2</sup> und mit einer Tiefgarage für 24 Stellplätze ausgestattet. Unter dem Titel „Generationen Wohnen“ werden in der Wohnhausanlage ausschließlich Wohnungen in der Wohnform „Junges Wohnen“ und „Betreutes Wohnen“ errichtet, die durch die NÖ-Landesregierung speziell gefördert werden. Die Reihenhäuser haben eine Nutzfläche von ca. 110 m<sup>2</sup> und sind nicht unterkellert.

Auf Initiative des für dieses Projekt planenden Architekturbüros AW/Architekten ZT GmbH, wurde bei der Konzipierung dieses Wohnbauprojektes als Wärmeversorgungssystem eine Wärmepumpe mit Erdsonden in Kombination mit einer thermischen Bauteilaktivierung in den Decken vorgesehen. Die Entscheidung für dieses Wärmeversorgungssystem, stand auch in direktem Zusammenhang mit einem in der Gemeinde Sommerein errichteten Windpark. Die TBA und deren Regelung der Wärmepumpe sollen einerseits für einen Spitzenlastausgleich bei Energieüberschuss des Windparks sorgen, andererseits auch das Stromnetz entlasten. In Zusammenarbeit mit dem Windparkbetreiber (EVN) sind Konzepte zur Umsetzung bereits ausgearbeitet.

Energiespeicherung, Komfortverbesserung, sowie „günstigen“ Strompreis, wurde als Entscheidungsgrundlage herangezogen.

Die Warmwasserbereitung erfolgt ebenfalls über die Wärmepumpe mit einem 3.000 Liter Pufferspeicher der Wohnhausanlage und 380 Liter bei den Reihenhäusern.

Dieses Projekt stellt in dieser Form ein Vorzeigeprojekt dar und ist das erste mehrgeschossige Wohnbauprojekt mit der ausschließlichen Wärmeabgabe über eine TBA in Niederösterreich.

Um die Wirkungsweise der TBA über thermischen Komfort und Energieverbrauch messbarer darstellen zu können, werden bei diesem Projekt eine Vielzahl an Sensoren verbaut, die Betriebsdaten in der Nutzungsphase liefern sollen. Über das vorgesehene Monitoring sollen die erhobenen Echtzeiten entscheidende Erkenntnisse über Energieeinsätze, Verbräuche und Speicherung bringen. Ein wesentlicher Teil für aussagekräftige Daten und entsprechende Erkenntnisse ist die richtige Positionierung der Fühler in der Decke. Dies erfolgte in Zusammenarbeit mit Hrn. Ao. Univ. Prof. i.R. Dipl.-Ing. Dr. Klaus Kreč, der sich mit dem Thema Energiespeicher Beton intensiv auseinandergesetzt hat und bereits mehrere wissenschaftliche Berichte zu diesem Thema erstellt hat.



F&E Umsetzung der Bauteilaktivierung

# What you see is what you get. Unser Architekturcluster in Sichtbeton.

**Arch. DI Erwin Stättner**  
Franz und Sue ZT GmbH, *Wien*

# Franz&Sue

www.franzundsue.at

Franz&Sue | Erwin Stättner

**What you see is what you get.  
Unser Architekturcluster in Sichtbeton.**



Einer von Franz&Sues Leitsätzen lautet: „Je komplexer die Anforderungen eines Projekts, umso simpler muss die Lösung sein.“ Mit diesem Grundsatz konnte sich unser Büro beim Wettbewerb um das neue Sammlungs- und Forschungszentrum der Tiroler Landesmuseen gegen 151 Teams durchsetzen. Auf die Forderung nach einem konstanten Raumklima für die wertvollen Kunstgegenstände antworteten wir mit einem monolithischen Kubus, der zu zwei Drittel im Hang eingegraben ist. Durch die Selbstregulierung des Erdkörpers, beständige Materialien wie Kalk und Beton und eine Bauteilaktivierung konnten wir den technischen Aufwand mit einer minimalen Lüftungsanlage gering halten.

Auch unser Quartiershaus im Wiener Sonnwendviertel folgt dieser Logik. Gemeinsam mit PartnerInnen aus der Architekturbranche haben wir das Bürohaus und kooperative Architekturcluster geplant, finanziert und errichtet. Der kollektive Wunsch nach einem robusten, ehrlichen Haus mit minimaler Haustechnik führte zur Entscheidung, das Gebäude in Fertigteilbauweise auszuführen. Die 3,3 m x 3,6 m großen Fassadenelemente haben auf der Innen- und Außenseite vorgefertigte, sandgestrahlte Sichtbetonoberflächen, dazwischen ist die Wärmedämmung bereits eingelegt. Der Beton wirkt gleichzeitig aktiv als

Speichermasse, die Kühlung und Minimallüftung erfolgt über die STB-Decken. Es gibt keine Zwischendecken. Nach den Stahlbetonarbeiten ist das Haus beinahe fertig, nur noch Fenster und Böden kommen hinzu. Eine, wie wir finden, zeitgemäße und ökonomische Bauweise.

Hinter der Konstruktion des Gebäudes auf einem relativ kleinen Baufeld stecken statisches Know-how und maßgenaue Präzisionsarbeit, die das solide und schlichte Endergebnis auf den ersten Blick kaum vermuten lässt. Der Baustoff Beton wird hier an seine baulichen und ästhetischen Grenzen geführt. Kurz vor der Fertigstellung des Herzensprojekts sind sich die Projektbeteiligten einig, dass die Gratwanderung geglückt ist: Der „Stadtelefant“ steht bodenständig und selbstbewusst im Viertel, die Raumhöhe von 3,20 Meter gibt dem modernen Neubau Weite und Gründerzeithaus-Atmosphäre.

F&E Umsetzung der Bauteilaktivierung

# Heizen und Kühlen mit Beton im Wohnbau – Projekt MGG<sup>22</sup> in Wien

**Mag. Arch. Peter Thalbauer**

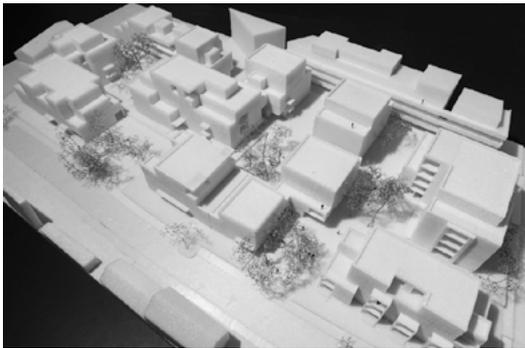
Sophie und Peter Thalbauer ZT GmbH, *Wien*

## Heizen und Kühlen mit Beton im Wohnbau – Projekt MGG22 in Wien

Im 22. Wiener Gemeindebezirk entsteht derzeit eine Wohnhausanlage, die eine urbane Alternative zum Reihenhaushaus mit Garten darstellt. Das Besondere daran: Hier wird erstmals die thermische Bauteilaktivierung (TBA) zum Heizen und Kühlen im sozialen Wohnbau eingesetzt.

### Prolog:

Ein dreiteiliges Grundstück an der Mühlgasse wird als ein Projekt gemeinsam bebaut. Zu den drei Teilen gibt es drei Architekturbüros. Der gemeinsam ausverhandelte städtebauliche Rahmen beruht auf der strategischen Setzung von drei zentralen Plätzen über die Teilungsgrenzen hinweg. Die Positionierung der Baukörper fasst die Plätze als gemeinschaftliche Frei- und Zwischenräume und erzeugt vielfältige, situativ angepasste Wohnungstypen. Insgesamt entstehen 160 Wohnungen.



Modell: Thaler Thaler Architekten  
Modellfoto: Sophie und Peter Thalbauer, Architektur

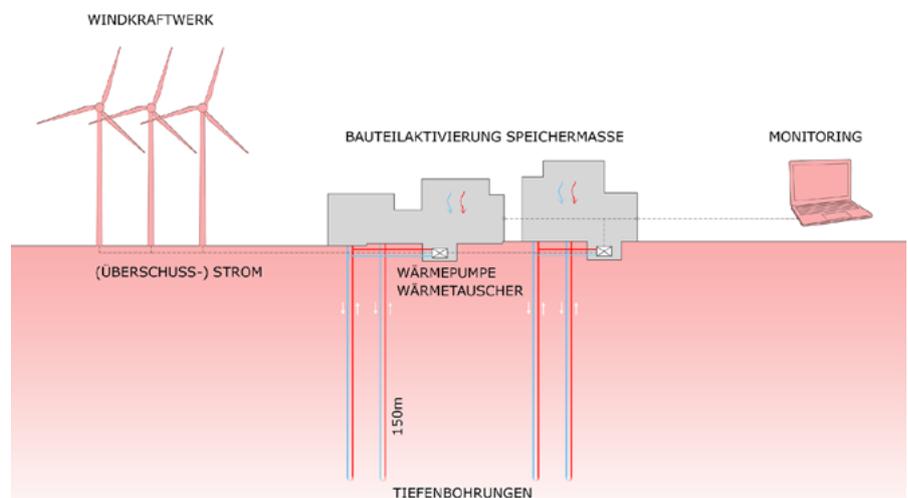
### Die Initiative:

Einerseits die gleichzeitige und gemeinschaftliche Bebauung von drei Grundstücken mit unterschiedlichen Eigentümern, sowie andererseits das dabei ausgeführte, experimentelle Energiekonzept ist nur möglich, weil bestimmte Personen visionär und ausdauernd dahinter stehen.

Mit konkretem Planungsbeginn entstehen für alle Beteiligten viele Fragen. Die Umsetzung erfordert eine notwendige Bereitschaft sich auf etwas neues einzulassen.

### Energiekonzept:

Das Energiekonzept beruht auf einer Bauteilaktivierung in Kombination mit der Nutzung alternativer Energien.



Schemaskizze: Sophie und Peter Thalbauer, Architektur

Beim Projekt MGG22 kommt die umweltfreundliche Wärme für Beheizung und Warmwasser aus dem Boden und wird mit Sole/Wasser Wärmepumpen in Verbindung mit Erdwärme – Tiefensonden erzeugt.

Im Sommer wird den Wohnungen die störende Hitze entzogen und damit das Erdwärme - Sondenfeld regeneriert (die Wohnungen werden gekühlt).

Da derartige Gebäude als Energiespeicher fungieren können, sorgt ein Windstrom-Lastenmanagement dafür, dass der Strom zum Betrieb der Wärmepumpen weitestgehend aus Überschussproduktion (Windstrom) stammt.

Das System ist ein echtes Low-tech-System. Die Funktionsweise ist genial und einfach:

Bei der Errichtung werden in die Stahlbeton - Geschoßdecken Rohrregister eingelegt, durch die je nach Bedarf warmes oder kühles Wasser geleitet wird.

Bei der abgegebenen Wärme handelt es sich um Strahlungswärme. Es ist keine Zusatzheizung notwendig. Die Gebäude selbst werden im Niedrigenergiehausstandard errichtet.

Für eine 70 – 80m<sup>2</sup> große Wohnung sollte die Jahresrechnung für Heizen, Kühlung und Warmwasser unter 300€ betragen. So niedrige Energiekosten sind auch ein wesentlicher Faktor für dauerhaftes „leistbares Wohnen“.

Peter Thalbauer



Stiege 1, 1.OG Foto DI F.Ritsch, FIN

Bauträger: Neues Leben – Gemeinnützige Bau-, Wohn- und Siedlungsgenossenschaft  
M2plus Immobilien GmbH CEO Dr. Norbert Mayr

Architekten: Thaler Thaler Architekten, Architekt DI Alfred Charamza, Sophie und Peter Thalbauer

Energiekonzept: FIN Future is Now – Kuster Energielösungen

F&E Umsetzung der Bauteilaktivierung

# Bauteilaktiviertes Wohnprojekt Theresienfeld

**Arch. DI Michael Aigner**

Steinkogler Aigner Architekten ZT GmbH, *Wien*

## BAUTEILAKTIVIERTES WOHNPROJEKT THERESIENFELD

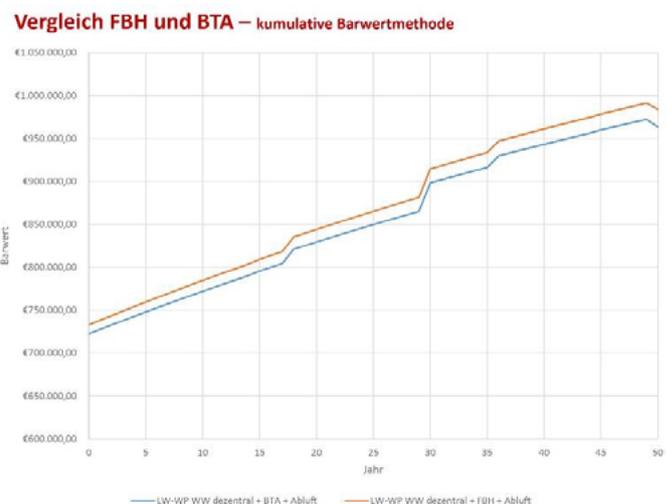
Arch DI Michael Aigner / Steinkogler Aigner Architekten ZT GmbH, Wien

Ein Wohnbauforschungsprojekt NÖ in Zusammenarbeit mit:

Wien Süd Gen.m.b.H / Arthur Krupp Ges.m.b.H, Wien / Berndorf // Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn // Gugerell KG, Amstetten // Dinhobl Bauunternehmung GmbH, Wiener Neustadt // I•IBW – Institut für Immobilien, Bauen und Wohnen GmbH, Wien // TRICONCONSULT Ges.m.b.H., Wien

Am Anfang des Projekts stand die Idee der Wohnbaugenossenschaft Wien Süd (auf Initiative von DI Batelka), mit Low-Tech-Ansätzen leistbares Wohnen, unter Einbeziehung der Themen Verdichtung und Lebenszykluskosten, zu optimieren. Wobei es in die Betrachtung neben den Errichtungs- auch die Folgekosten (etwa für Ver-/Entsorgung, Betrieb und Instandsetzung) miteinzubeziehen galt. Dies brachte mit sich, dass ein Konzept für ein Typenhaus entwickelt wurde, noch bevor ein Bauplatz dafür gefunden war. In Theresienfeld nahe Wiener Neustadt ergibt sich nun die Möglichkeit, das Konzept umzusetzen und auf seine Praxistauglichkeit zu testen.

Der Prozess wurde ergebnisoffen diskutiert, und da es anfänglich keinen Termindruck gab, wurde die Zeit genutzt, um diverse Ansätze und Möglichkeiten durchzudenken. In Kooperation mit dem Energieinstitut Vorarlberg wurde das Typenhaus in unzähligen Varianten betrachtet, wobei es zu Beginn um die grundsätzliche Wahl der Haustechnik und die damit verbundenen Betriebskosten ging (abgestimmt auf das durchschnittliche Nutzverhalten der Wien-Süd-MieterInnen). Erst in einem weiteren Schritt wurden die Materialien und die detaillierte Ausführung behandelt. Letztendlich ergab die Berechnung, dass eine thermische Bauteilaktivierung (TBA) mit Luftwärmepumpe in Kombination mit einer Gebäudehülle in Passivhausstandard, einer Abluftanlage mit Kaltzuluftventilen und einer PV-Anlage auf dem Dach zum optimalen Ergebnis für Bauherr und NutzerInnen führt.



Das Typenhaus besteht aus vier Maisonetten, die jeweils an den Gebäudeecken angeordnet sind und zwei Dachgeschosswohnungen im Staffelgeschoss, die über ein innenliegendes Stiegenhaus erschlossen sind. Es ist als verdichtete Alternative zum im dörflichen und kleinstädtischen Bereich dominierenden Typus des Einfamilienhauses gedacht, lässt sich dort als Solitär oder Wohnanlage gut in die Struktur und vorherrschende Bebauung integrieren und senkt den Flächenverbrauch pro Bewohner drastisch.

Um den Low-Tech-Ansatz umsetzen zu können, braucht es eine entsprechend einfache, langlebige und gut sanierbare Gebäudehülle, die den Einsatz von Technik a priori reduziert. Die dennoch notwendigen Haustechnikelemente sollen einfach zu warten und bedienen sein. Die Reduktion auf das Wesentliche ermöglicht es, auch haustechnische Anlagen wie den Lift zu eliminieren, was zu Einsparungen bei der Errichtung und im Betrieb führt und die Lebenszykluskosten senkt. Da sich ein Low-Tech-Gebäude neben einem geringen Energiebedarf auch durch einen hohen Anteil erneuerbarer Energien für Wärme und Strom auszeichnet, bietet sich die TBA als Möglichkeit an, diese ins Gebäude zu holen, dort zu behalten und zu nutzen.

Die Wohnungen werden über die aktivierten Decken konditioniert, wobei im Winter geheizt und im Sommer gekühlt wird. Neben der Möglichkeit die Decken als Energiespeicher zu nutzen, war speziell die Kühlung ein wesentlicher Entscheidungsfaktor, da diese in den kommenden Jahren, in Verbindung mit dem



Sonnenschutz, wie prognostiziert, eine immer größere Rollen spielen wird. Das Warmwasser wird über den Rücklauf der TBA mittels einer Wärmepumpe dezentral in den Wohnungen erzeugt. Damit wird die Energie im System optimal ausgenutzt und die zusätzlich abgesenkte Rücklauftemperatur steigert den Wirkungsgrad der Luftwärmepumpe.

Die Summe der Maßnahmen resultiert in geringen Wohnkosten und deutlich reduzierten Energiekosten (Heizung und Strom) für die Bewohner, bei ganzjährig hohem Komfort. Damit einhergehend bewirken die Maßnahmen, bei beachtlicher Wohnqualität, eine Senkung des Ressourcenverbrauchs für Haushaltsenergie, aber auch bei Grund und Boden.

F&E im Hochbau

# Mineralisch hydraulisch gebundene Dämmungen – Stand der Entwicklungen und Projekte

**DI Anja Ebenschweiger**

Lafarge Zementwerke GmbH, *Wien*

# Mineralisch hydraulisch gebundene Dämmungen – Stand der Entwicklungen & Projekte

DI Anja Ebenschweiger  
Lafarge Zementwerke GmbH, Österreich

## 1 Einleitung

Innovatives Bauen beginnt beim Baustoff, der in Kombination mit abgestimmten Systemlösungen Sicherheit, Komfort und Energieeffizienz über die gesamte Lebensdauer des Bauwerkes garantiert. Am Ende soll der Baustoff wieder dem Materialkreislauf zugeführt werden. Die mineralische Dämmung erfüllt diesen Anspruch, indem es ganz einfach zur Zement- und Betonproduktion zugeführt werden kann.

## 2 Mineralisch hydraulisch gebundene Dämmungen

Mineralisch hydraulisch gebundene Dämmungen sind innovative Dämmstoffe auf Zementbasis. Der mineralische Dämmstoff ist nicht brennbar, verhindert Schimmelbildung und ist resistent gegen Nagetiere. Die rein mineralische Dämmung rundet das Angebot für eine nachhaltige Bauweise ab und bietet unendliche Möglichkeiten, weil sich die Materialbeschaffenheit durch seine Fließfähigkeit und Langlebigkeit von herkömmlichen Dämmstoffen unterscheidet.

### 2.1 Was ist ein mineralisch hydraulisch gebundener Dämmstoff?

Bei mineralisch hydraulisch gebundenen Dämmstoffen auf Zementbasis stabilisiert das mineralische Bindemittel die Milliarden kleiner Luftblasen, wodurch unzählige Luftpolster entstehen, die natürlich auf Hochleistungsniveau dämmen.

Das Material namens AIRIUM™ wird direkt beim Kunden in der gewünschten Menge und Dichte frisch vor Ort produziert und bis zu 60 Meter an den gewünschten Einbauort gepumpt. Die mobile Vor-Ort-Lösung ist ressourcenschonend: Da nur die benötigte Menge produziert wird, entsteht kein Verschnitt und auch Verpackungsmaterial ist dadurch überflüssig. In frischem Zustand hat das Material eine schaumige Konsistenz, wodurch sich

das Dämmmaterial perfekt seiner Umgebung anpasst und alle Unebenheiten ausfüllt, bevor es aushärtet und durch das Austrocknen seine dauerhafte Dämmleistung entwickelt. Mit einem Dampfdiffusionswiderstandswert  $\mu$  von  $< 10$  ist das Material diffusionsoffen, gleichzeitig kann es Feuchte aus der Umgebung aufnehmen und langsam wieder abgeben. Mineralisch hydraulisch gebundene Dämmstoffe sind in der Brandbeständigkeitsklasse A1 (nicht brennbar) eingestuft.

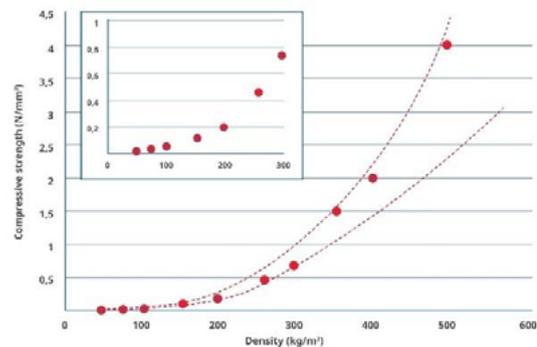


Abbildung 1 Dichte versus Festigkeitsentwicklung

Die flexible Auswahl der Dichte führt zu unterschiedlichen Eigenschaften in Bezug auf die Festigkeit und die Wärmedämmung (lambda-Wert) des Schaums (siehe Abbildung 7 und 8). Je nach Anforderung kann damit die passende Rezeptur ausgewählt werden.

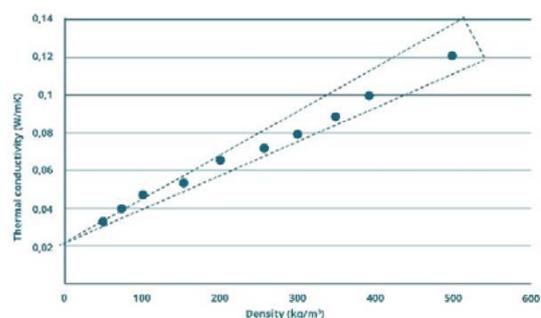


Abbildung 2 Dichte versus Lambda-Wert

### 3 Anwendungsbeispiele & Projekte

Die schaumige Konsistenz prädestiniert die mineralisch hydraulisch gebundene Dämmung für horizontale Anwendungen sowie für Anwendungen, bei denen der Dämmstoff horizontal eingebracht werden kann und erst nach dem Aushärten in die vertikale Position gebracht wird.



Abbildung 3 Derzeitige Anwendungen für das Material

In folgenden Anwendungen sind die mineralisch hydraulisch gebundenen Dämmungen bereits im Einsatz: Dämmung von Dachböden / obersten Geschossdecken, Füllen von Leichtbetonmauersteinen, innenliegende Dämmung von Betonfertigteilen wie zum Beispiel die Sandwichwand oder als Dämmung unter dem Estrich.

#### 3.1 Dämmung oberste Geschossdecke



Abbildung 4 Dämmung eines 300 J. alten Bauernhauses

Die mineralisch hydraulische gebundene Dämmung ist pumpbar und lässt sich leicht abziehen, daher ist sie ideal für die Dämmung der letzten Geschossdecke geeignet. Sie ist feuchtigkeitsausgleichend, brandbeständig sowie resistent gegen Schimmel und Schädlinge, wodurch eine langlebige und dauerhafte Dämmleistung garantiert ist.

#### 3.2 Betonfertigteil-Sandwichwand



Abbildung 5 Systemquerschnitt der Sandwichwand

Die Betonfertigteil-Sandwichwand mit innenliegender mineralisch hydraulisch gebundener Dämmung kann für Wände und Dachelemente eingesetzt werden. Durch den Aspekt der Vorfertigung unter gleichmäßigen Bedingungen im Werk ist eine sehr hohe Ausführungsqualität hinsichtlich Maßgenauigkeiten und Oberflächengestaltungen möglich.

#### 3.3 Dämmung unter Estrich

Mineralisch hydraulisch gebundene Dämmungen vereinen Ausgleichsschüttung und Estrichdämmung in einem Arbeitsschritt. Sie werden als eine druckbelastbare Schicht unter dem Estrich eingebaut. Die schaumig-flüssige Konsistenz im frischen Zustand gleicht problemlos Unebenheiten und Hohlräume wie zum Beispiel zwischen den Leitungen aus.



Abbildung 6 Dämmung unter dem Estrich

F&E im Hochbau

# Viva Forschungspark – Innovationszentrum für den Vergleich von Baustoffen

**BM Ing. Erich Reindl**  
Baumit GmbH, *Wopfing*



## Viva – Der Forschungspark von Baumit

Bauweisen und Baustoffe haben einen signifikanten Einfluss auf Gesundheit und Wohlbefinden. Viva, der Forschungspark von Baumit ist mit zwölf Forschungshäusern im niederösterreichischen Wopfung das größte Forschungsprojekt für vergleichende Baustoffe in Europa. Hier werden erstmals in der Praxis eingesetzte Materialkombinationen unter Berücksichtigung des Nutzerverhaltens umfassend wissenschaftlich getestet. Die Messungen, Analysen und Evaluierungen werden von externen, unabhängigen Forschungseinrichtungen in enger Zusammenarbeit mit Baumit durchgeführt.

Die erste spannende Forschungsphase wurde in den drei Erkenntnissen - Dämmen first, Masse ist klasse und Innere Werte – zusammengefasst:

### **Dämmen first: Warm im Winter, kühl im Sommer für mehr Gesundheit**

Gute Wärmedämmung ist die Basis, der erste Schritt zu gesundem Wohnen. Denn Wärmedämmung leistet nicht nur einen wesentlichen Beitrag zur Energieeffizienz des Gebäudes, sondern sorgt im Winter für wohlig warme und im Sommer für angenehm kühle Wände. Der Wohnraum wird so zum Wohlfühlraum ohne Zuglufterscheinungen.

### **Masse ist klasse: Nachhaltiger Energiespeicher für gesundes Wohnen**

Massive Wände können, von außen durch gute Wärmedämmung geschützt, im Winter Wärme speichern und im Sommer die Kühle im Haus halten. Je mehr Masse, desto besser wirkt dieser Speicher und desto stabiler, angenehmer und gesünder ist das Innenraumklima.

### **Innere Werte: Feuchtigkeitsspeicher für gesundes Raumklima**

Ein gutes mineralisches Putzsystem kann bereits in den ersten Zentimetern auftretende Feuchtigkeitsspitzen abpuffern, indem es überschüssige Feuchtigkeit aufnimmt und später wieder abgibt. Eine dadurch gewährleistete gleichbleibende Luftfeuchtigkeit sorgt somit für ein gesundes Raumklima.

F&E im Hochbau

# Pumpbarer Leichtbeton – Demonstrationsprojekt in Wien

**DI Thomas Schönbichler**

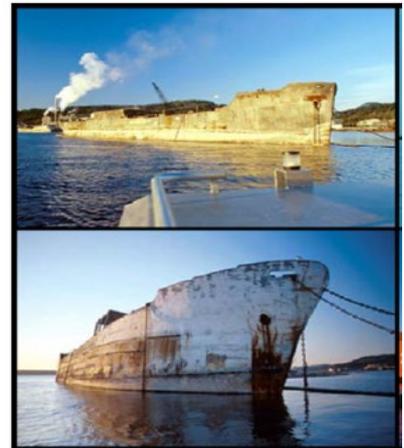
Cooperative Leichtbeton Werbegemeinschaft GmbH, *Wien*

## Cooperative Leichtbeton

### Leichtbeton-Pumpbeton

Wie man weiß, ist Leichtbeton ein Jahrhunderte, um nicht zu sagen ein Jahrtausende alter Baustoff, der - vor allem aus Blähton - um 1900 schon in Amerika eingesetzt wurde. Neben Schiffen, deren Rümpfe auch heute noch existieren, wurden auch viele Brücken damit errichtet. In Österreich wurde Leichtbeton in erster Linie durch den Einsatz im Mauersteinbereich als „Lecabeton“ - heute Liapor - bekannt und erreichte in Österreich in den 80er Jahren einen Marktanteil von rd. 30%.

Im westeuropäischen Raum wurde und wird Leichtbeton auch in vielen konstruktiven Bereichen mit höchsten Ansprüchen eingesetzt. Offshore Konstruktionen in der Nordsee, weit



gespannte Brücken über norwegische Fjorde, Fassadenelemente für hohe Gebäude, extravagante Konstruktionen wie das BMW Gebäude, die Volkswagenarena, oder die alte Sprungschanze in Oberndorf sind eindrucksvolle Zeugen. In fast allen Fällen war die Gewichtseinsparung in Kombination mit der geplanten Konstruktion der ausschlaggebende Faktor für eine sinnvolle Darstellung. Die Reduktion des Gewichts war und ist in den meisten Fällen der

Hauptvorteil. Neuerdings kommen Anforderungen wie Brandverhalten und bauphysikalische Eigenschaften hinzu, aber auch hier hat Leichtbeton ganz wesentliche Vorteile.

In Österreich hält sich der Einsatz von konstruktivem Leichtbeton gemäß ÖNORM 4710- Teil2, deren Überarbeitung übrigens kurz vor Fertigstellung steht, noch in Grenzen. Einer der wesentlichen Gründe dafür war, dass Leichtbeton nicht 100%-ig zielsicher pumpfähig war. Wohl von vielen mit viel Einsatz und Aufwand probiert, war es nur bedingt erfolgreich.



Dazu muss man die grundsätzliche Problematik etwas beleuchten. Für die Herstellung von Blähton gibt es zwei verschiedene Verfahren. Erstens das Leca-Verfahren, wo in einem Drehrohrofen getrockneter Ton aufgegeben wird und sich durch die Ofengestaltung und Drehung ein Gemenge aus



verschiedenen Körnungsgrößen ergibt, die mit unterschiedlichen Härten und Festigkeiten hergestellt werden können. Weiters gibt es das Pelettierverfahren, wo aus Ton zuerst Kugeln in definierter Größe produziert und diese danach einem Brennvorgang unterzogen werden. Beide Verfahren sind nahezu gleichwertig, doch eine Eigenschaft ist anders und die beeinflusst das Pumpverhalten.

Blähton ist generell im Stande Wasser aufzunehmen, eine Eigenschaft die eine erhöhte Flexibilität beim Wassergehalt ohne Qualitätsverlust ermöglicht. Zusätzlich führt es zu einer Art inneren Nachbehandlung, die der Qualität des Leichtbetons ebenfalls zuträglich ist.

Beim Pumpbeton wird naturgemäß zusätzlicher Druck aufgebracht, der dazu führt, dass die Luft im Korn komprimiert wird, Wasser in das Korn hineingedrückt wird und nach Wegfall auch zu einem Teil wieder austritt. Nebenerscheinungen sind ein Konsistenz- und auch Frühfestigkeitsverlust, der bei Rezepturerstellung berücksichtigt werden muss und wird. So werden in Amerika z.B. Leichtgesteinskörnungen richtig vorgemischt, um einen Wassergehalt an die 40 % aufzunehmen (rd. 300 Liter Wasser je m<sup>3</sup>). Dadurch kann die Luft im Korn kaum mehr zusammengedrückt werden und der Leichtbeton ist problemlos pumpbar. In Österreich ist diese Vorgangsweise aus logistischen Gründen leider nicht praktikabel. Gesteinskörnungen werden hier eher in trockenem Zustand oder mit Wassergehältern entsprechend W24 (Aufnahme nach 24 Stunden) ausgeliefert.



Naheliegender ist, dass eine dichtere Oberfläche des Korns mit einer Drucksteigerung durch den Pumpvorgang besser zurechtkommt als eine offenere. Nachteil: je dichter die Oberfläche, umso schwerer das Korn und damit der Leichtbeton, was dazu geführt hat, dass wir folgende Betonsorten jetzt pumpfähig anbieten können:

LC 50/55, D 2,0

LC 30/33, D1,8

LC 25/28, D1,6- D1,8



Wir sind natürlich bemüht weitere Leichtbetone pumpfähig zu machen, derzeit mit Rohdichteklassen D1,4. Davon werden wir Sie weiter informieren - zumindest auf [www.leichtbeton.at](http://www.leichtbeton.at) Wenn wir schon von Gewichtseinsparungen sprechen, sollte man sich vor Augen führen, dass die Rohdichteklasse 1,8 schon eine Gewichtseinsparung von 25 % je m<sup>3</sup> bedeutet. Dies führt uns zu den Einsatzmöglichkeiten und kann bei

- hohen Gebäuden (Spruch: ab 10 Geschoßen bekommt man ein Geschoß mehr bei gleicher Belastung des Untergrundes)
- schlechtem Untergrund
- Überbauungen
- extremen Tragwerken
- Transport
- Aufstockungen wie Dachbodenausbauten

von Vorteil sein. In jedem Fall stehen wir Ihnen von Projektbeginn an mit Rat und Tat zur Seite.

F&E im Tiefbau

# EcoRoads – Nachhaltige Betonstraßen für das Landesstraßennetz

**DI Dr. Martin Peyerl,**  
Smart Minerals GmbH, *Wien*

**DI Dr. Lukas Eberhardsteiner,**  
TU Wien, Institut für Verkehrswissenschaften, *Wien*

## **EcoRoads – Instandsetzungsbauweisen in Beton für das Landesstraßennetz**

Lukas Eberhardsteiner, Kristina Bayraktarova, Ronald Blab  
(*Institut für Verkehrswissenschaften, TU Wien*)

Martin Peyerl  
(*Smart Minerals GmbH*)

Florian Gschösser  
(*floGeco bzw. AB für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement, Universität Innsbruck*)

Eine Analyse des Zustands des österreichischen Landesstraßennetzes (ca. 33.700 km) zeigt, dass für ca. 22% der untersuchten Straßen teils massiver Instandsetzungsaufwand nötig ist (schlechter oder sehr schlechter Zustand). Im gegenständlichen Projekt soll daher eine schnelle und ökonomisch sinnvolle Betonbauweise als Alternative zur herkömmlichen Sanierung in Asphalt entwickelt werden. Hierfür werden zwei Ansätze verfolgt: Während einerseits bei der White Topping-Bauweise geschädigte Asphaltstraßen mit dünnen Betondecken mit konventionellen Fertignern überbaut werden sollen, wird andererseits eine Instandsetzungsmethode mit Walzbeton entwickelt. Im ersten Forschungsjahr wurde der Fokus auf das Mix Design für Instandsetzungsbauweisen, die Entwicklung von Dimensionierungsmethoden für White Topping-Aufbauten sowie ökonomische und ökologische Bewertung von Betonbauweisen gelegt.

Bei der Weiterentwicklung des Mix Designs eines geeigneten Betons für Instandsetzungsmaßnahmen ist speziell auf eine baldige Verkehrsfreigabe zu achten. Um dies erreichen zu können, wurden neue Bindemittel entwickelt, die – unter Beibehaltung erprobter Eigenschaften hinsichtlich AKR-Beständigkeit – eine entsprechende Frühfestigkeit entwickeln. Untersuchungen am Beton bestätigen dies auch bei niedrigen Beton- bzw. Einbautemperaturen von 10 °C. Darüber hinaus werden alle nötigen Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften sowie die Beständigkeit (z.B. gleichwertige Beständigkeit für die die Expositionsklasse XF4) erreicht.

Um die rasche Auswahl eines passenden Schichtaufbaus für die Instandsetzung zu ermöglichen, soll ein Anwendungskatalog erarbeitet werden. Dieser enthält ein Zustandserfassungskonzept für Asphaltstraßen, das die einfache Auswahl einer geeigneten Instandsetzungsmaßnahme in Betonbauweise ermöglicht. Außerdem beinhaltet der Anwendungskatalog einen Bemessungskatalog mit Standardaufbauten, für deren Ableitung eine Dimensionierungsmethodik für White Topping-Aufbauten entwickelt wurde. Kern dieser Methodik ist ein Finite Elemente-Modell zur Bestimmung der maßgeblichen Verkehrslastspannungen, das die Geometrie (Dicke der Betonschicht, Fugenabstand), die mechanischen Eigenschaften der eingesetzten Baustoffe (E-Modul, Festigkeit, Untergrundtragfähigkeit, Reibung in den Fugen) sowie die Verbundeigenschaften zwischen Beton und Asphalt berücksichtigt. Zur Durchführung von Sensitivitätsanalysen wurde ein vereinfachtes Bemessungstool entwickelt, das zeigt, dass folgende Parameter positiven Einfluss auf die Lebensdauer bewirken:

- kleinerer E-Modul,

- größere Biegezugfestigkeit,
- kleinere Feldgröße,
- größere Schichtdicke.

Die entwickelte Methodik erlaubt es erstmals, diese Effekte rechnerisch quantifizierbar zu machen und im Rahmen einer Bemessung – und in weiterer Folge in einer wirtschaftlichen und ökologischen Bewertung – zu berücksichtigen.

Mit Hilfe von Lebenszykluskostenanalysen und Ökobilanzstudien soll das ökonomische und ökologische Potential von Instandsetzungen in Betonbauweise aufgezeigt werden. Dabei zeigt sich, dass die Vergrößerung des Fugenabstandes (Feldfläche von 1,75 x 1,75 m auf 3,5 x 3,5 m) und die Verlängerung der Lebensdauer (25 Jahre) kombiniert eine Reduktion der Lebenszykluskosten über 50 Jahre von bis zu 35% bewirken können. Eine Ökobilanzstudie zeigt den starken Einfluss der Materialherstellung auf die Ergebnisse der drei betrachteten Umweltindikatoren (GWP, AP, Nr-CED), wobei im Vergleich zur Asphaltbauweise ein ausgeglichenes Verhältnis hinsichtlich des Treibhauspotentials (GWP), jedoch eindeutige Vorteile der White Topping-Bauweise hinsichtlich Versauerungspotential (AP) und nicht-erneuerbaren, kumulierten Energieaufwands (Nr-CED) besteht. Die White Topping-Bauweise stellt jedenfalls eine konkurrenzfähige Alternative bei der Instandsetzung von Landesstraßen dar.

Im weiteren Verlauf des Projektes soll der Fokus auf der Entwicklung von Betonbauweisen mit Walzbeton sowie der weiteren Entwicklung des Anwendungskatalogs gelegt werden. Die erzielten Ergebnisse dienen als Eingangsgröße weiterer ökonomischer und ökologischer Analysen. Darüber hinaus soll die Nutzung der Betonbauweisen insbesondere der Treibstoffverbrauch in Abhängigkeit vom Rollwiderstand in weiteren Lebenszykluskostenanalysen und Ökobilanzstudien entsprechenden Asphaltbauweisen gegenübergestellt werden.

F&E im Tiefbau

# Entwicklung eines haufwerksporigen Betons für den Lärm- und Anprallschutz

**BM DI Gerald Lanz**

MABA Fertigteilindustrie GmbH, *Wöllersdorf*



## **ENTWICKLUNG EINES HAUFWERKSPORIGEN BETONS FÜR DEN LÄRM- UND ANPRALLSCHUTZ**

Dipl.-Ing. Gerald Lanz

Die MABA Fertigteileindustrie GmbH hat einen innovativen, haufwerksporigen Beton mit dem Markennamen Phonobloc® LB entwickelt, der sämtliche akustische und nicht-akustische Anforderungen an Lärmschutzvorrichtungen gemäß EN 14388 erfüllt. Dieser Werkstoff wird bereits erfolgreich für eine Vielzahl von Produkten, wie z.B. LSW-Elemente, Gleisabsorber sowie niedere, gleisnahe Lärmschutzwände, eingesetzt.

Um auch die Eignung des Phonobloc® LB Materials im Bereich der Fahrzeugrückhaltesysteme gemäß EN 1317 nachweisen zu können, wurde innerhalb der Kirchdorfer Gruppe ein mehrjähriges Entwicklungsprojekt gestartet. Als Entwicklungsziel wurde eine absorbierende Betonleitwand definiert, welche einerseits schallschluckende Eigenschaften bis zur Aufstandsfläche aufweist und andererseits für das niederrangige Straßennetz die höchste Aufhaltestufe sicherstellt. Im Zuge mehrerer Crashtests gemäß EN 1317 konnte nachgewiesen werden, dass durch die fahrbahnseitige Anordnung des Phonobloc® LB Materials sämtliche sicherheitsrelevanten Materialeigenschaften des Rückhaltesystems weiterhin gegeben sind. Zudem zeigten akustische Simulationen einen positiven Effekt gegenüber konventionellen Lösungen.

Eine erste Pilotstrecke des Sile&Safe®-Systems wurde im Oktober 2018 entlang der B145 Salzkammergut Straße errichtet.

F&E im Tiefbau

# Research@ZaB als regionales Flaggschiff

**Prof. DI Dr. Robert Galler**  
Zentrum am Berg, *Eisenerz*

## Research@ZaB als regionales Flaggschiff

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Robert Galler, Montanuniversität Leoben

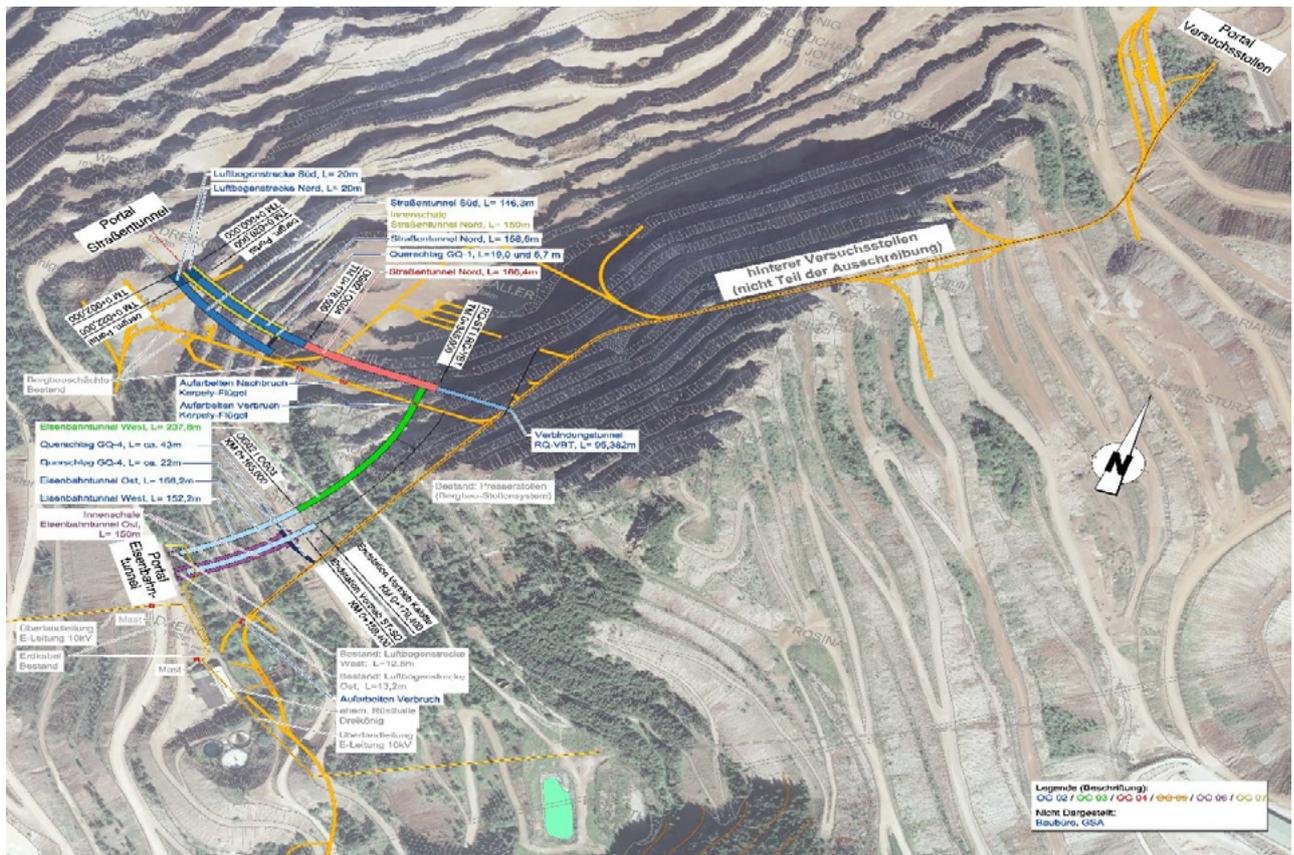
*Die Errichtung des Forschungs-, Entwicklungs- und Seminarzentrums „ZaB – Zentrum am Berg“ für den Bau und Betrieb von Untertageanlagen sowie von Tiefbohranlagen der Erdölindustrie, einem Forschungs-, Trainings- und Schulungszentrum für Einsatzorganisationen, für das Wartungs- und Instandhaltungspersonal der Verkehrsinfrastruktur sowie für die Ausbildung von Nutzern der Straßen- und Bahninfrastruktur wurde vom Wissenschaftsministerium gemeinsam mit dem Ministerium für Verkehr-, Innovation und Technologie sowie dem Stand Steiermark genehmigt.*

Weltweit gibt es gigantische Untertage-Projekte, wie beispielsweise geplante Tunnel unter der Beringstraße, die Einzeltunnellängen von mehr als 200 Kilometern aufweisen. Viele weitere Projekte für U-Bahn- und Tunnelbauwerke nicht nur im europäischen sondern vor allem auch im asiatischen Raum, welche mit Abstand den stärksten Zukunftsmarkt für den Tunnelbau darstellen, befinden sich in Planung.

Für die Weiterentwicklung der Baumethoden, aber auch von Materialien und der Ausstattung - von der Tunnellüftung bis zur gesamten Sicherheitstechnik inklusive im Tunnel integrierter Löschsyste - waren Tests unter realen Bedingungen bisher kaum möglich. Eine Überprüfung im Labor ist nur eingeschränkt aussagekräftig, selbst Tests in bestehenden Tunnels können kein Szenario für den tatsächlichen Katastrophenfall bieten. Versuche in bestehenden Tunnelbauwerken sind nicht nur aufwendig und teuer, da die Tunnel für die Versuche gesperrt und der Verkehr umgeleitet werden müssen. Man kann beispielsweise in Bestandstunneln nur mit eingeschränkter Brandlast testen, da sonst Schäden am Tunnel entstehen.

Ein unterirdisches Tunnelsystem zu Forschungszwecken, das sogenannte Zentrum am Berg, soll hier Abhilfe schaffen. Mit dem Zentrum am Berg soll in einem stillgelegten Teil des steirischen Erzberg eine weltweit einzigartige Forschungsstätte entstehen. Insgesamt fünf Tunnelröhren sind im Vollbetrieb vorgesehen – ideale Bedingungen nicht nur für Forscher, sondern auch für verschiedenste Bereiche von Einsatzorganisationen und der Industrie.

Auf rund 1000 Metern Seehöhe entstehen aktuell zwei Eisenbahn- und zwei Straßentunnel sowie eine Versuchsstrecke im Bergbaustollenprofil. Das entspricht einem Doppelröhrensystem wie im realen Straßenverkehr. Der Regelquerschnitt der Straßentunnelabschnitte orientiert sich am steirischen Gleinalmtunnel. In den Eisenbahntunneln werden Schienen verlegt – um ein realistisches Szenario zu schaffen, aber auch, damit Versuchsobjekte an- und abtransportiert werden können.



Die in Summe fast drei Kilometer langen Tunnel und Stollen unterqueren einerseits die höchste Stelle des Erzbergs, den so genannten Erzbergspitz; andererseits gibt es auch Abschnitte mit geringer Überlagerung, wodurch sichergestellt werden soll, dass Tunnelabschnitte mit unterschiedlichen Randbedingungen untersucht werden können. Seit Beginn der Arbeiten werden Studierende einbezogen. In der Praxis zu erleben, was passiert, wenn ein Tunnel gebaut wird, bietet die ideale Basis, um die Methoden zu verstehen. Praxisorientiertes Arbeiten am Zentrum am Berg ist bereits im Studienplan der Montanuniversität verankert. Wissenschaftler anderer Einrichtungen haben bereits Interesse bekundet, die Tunnel zu nutzen. Forscher der TU Graz beabsichtigen etwa bestehende und neue Lüftungskonzepte zu testen. Die Ausbreitung von Gasen und die notwendige sicherheitstechnische Ausrüstung lassen sich im Zentrum am Berg ideal untersuchen. Aber auch die Auswirkungen der Klimaveränderung auf Tunnel, etwa die Folgen von Starkniederschlägen oder Muren, lassen sich messtechnisch erfassen. In diesem Zusammenhang sind beispielsweise Steinschlagschutzsysteme weiter zu entwickeln. Geothermie, also Erdwärme, könnte genutzt werden, um Tunnelportale im Winter eisfrei zu halten. 50 Unternehmen haben bereits Interesse bekundet, im Berg zu forschen. Dabei reichen die Projektideen vom Bauingenieurwesen bis zur Informatik. Im ZAB wird es auch ein Schulungszentrum geben, in welchem Krisenszenarien unter realen Verhältnissen, wie Tunnelbrände, trainiert werden können und somit für den Ernstfall besser gerüstet zu sein. Auch wenn der Bau bereits als Forschung zählt, wird die Fertigstellung des ZAB noch bis ca. Ende 2019 dauern.

F&E im Tiefbau

# Entwicklung neuer dauerhafter und nachhaltiger Spritzbetone

**Prof. DI Dr. Wolfgang Kusterle**  
OTH Regensburg, *Regensburg*



Kurzbeitrag

## Entwicklung neuer, dauerhafter und nachhaltiger Spritzbetone

Maria **Thumann**, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Deutschland  
 Joachim **Juhart**, Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie, TU Graz, Österreich  
 Rudolf **Röck**, Arbeitsbereich Materialtechnologie, Uni Innsbruck, Österreich  
 Andreas **Saxer**, Arbeitsbereich Materialtechnologie, Uni Innsbruck, Österreich  
 Isabel **Galan**, Institut für Angewandte Geowissenschaften, TU Graz, Österreich  
 Florian **Mittermayr**, Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie, TU Graz, Österreich  
 Wolfgang **Kusterle**, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Deutschland

Spritzbeton wird im Tunnelbau als temporäre und permanente Stütz- und Ausbaumaßnahme eingesetzt. Mit der Einführung der alkalifreien Spritzbeton-Technologie [1] wurde um 2004 ein großer Qualitätssprung erzielt. Trotzdem besteht noch Optimierungsbedarf. Alle Bauwerke sollten heute nachhaltig und dauerhaft erstellt werden. Spritzbeton sollte daher aus möglichst umweltneutralen Stoffen hergestellt werden und auch in aggressiver Umgebung dauerhaft, ohne ungünstige Auswirkungen auf das Gesamtbauwerk, seine Aufgaben erfüllen. Das kann nur mit optimierten Rezepturen unter Einsatz ausgewählter Ausgangsstoffe realisiert werden. Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung und des Klimaschutzes sollen Ressourcen effizient und nachhaltig eingesetzt werden. Dies gelingt besonders effektiv, wenn die Lebensdauer der Tunnelbauwerke verlängert werden kann.



*Bild 1: Die Spritzbetonentwicklung der letzten 35 Jahre in Stichworten; EB Erstarrungsbeschleuniger; Hochleistungsverflüssiger vom Typ PCE, RV reduziertes Versinterungspotential, BBG Brandbeständigkeit im Großversuch*

Das Forschungsprogramm ASSpC (**A**dvanced and **S**ustainable **S**prayed **C**oncrete) wurde von der Österreichischen Bautechnikveranstaltungs GmbH im Programm Collective Research beim FFG eingereicht [2, 3]. Es wird dankenswerter Weise von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG 856080) und Beiträgen der industriellen Partner gefördert. Vier Forschungseinrichtungen und zahlreiche Mitglieder der öbv sind im Forschungskonsortium vertreten.

Die Forschungsaktivitäten begannen mit Voruntersuchungen mit klassischen Labormethoden, Kleinspritzversuchen mit dem MiniShot System [4] und enden dann bei Großspritzversuchen. Sie werden begleitet von Untersuchungen zu Reaktionsmechanismen, Rheologie, Frühfestigkeitsentwicklung und Auslagerungsversuchen unter gezielten Bedingungen.

Den bisher üblichen Bindemittelkombinationen aus CEM I + AHWZ-Kombi Typ aus Hütten sand, Flugasche und Kalksteinmehl [1], werden Mischungen aus Klinker und mehreren gezielt abgestimmten Zusatzstoffen, und nach dem Prinzip der Dichten Packung dosiert, gegenübergestellt. Die erforderlichen Zusatzmittel werden auf diese Mischungen abgestimmt.

Folgende Themenbereiche werden untersucht:

#### Lösender Angriff

Bei lösendem Angriff können chemische Reaktionen die Auflösung von Zementstein an der Oberfläche bewirken. Es handelt sich um die oberflächennahe Umwandlung und den Abtrag von schwerlöslichen in leicht lösliche Verbindungen. Gesteinskörnungen an der Oberfläche eines Betons können herausbrechen und der Beton wird abgetragen. Im Tunnelbau wird ein lösender Angriff im Beton durch kalklösende Kohlensäure oder weiches Wasser hervorgerufen.

#### Versinterungen

Bei Versinterungen handelt es sich in erster Linie um Kalkablagerungen, die im sekundären Entwässerungssystem nicht druckwasserhaltender Tunnelbauwerke auftreten können. Versinterungen können durch die zementösen Bindemittel begünstigt werden und führen immer zu hohen Instandhaltungskosten [5]. Der eventuelle Beitrag von zementösen Baustoffen wird nach öbv-Merkblatt Festlegung des Reduzierten Versinterungspotential [7] beurteilt.

#### Sulfatangriff und Thaumazit-Sulfatangriff (TSA)

In unterirdischen Bauten stellt der Sulfatangriff, vor allem der Thaumazit-Sulfatangriff (TSA), ein schwerwiegendes Problem dar. Derzeit kann laut Richtlinie Spritzbeton [1] bei einer Sulfatkonzentration  $>1500$  mg/l im Bergwasser Spritzbeton nicht mehr als dauerhafte Stützmaßnahme eingesetzt werden. Vor allem TSA wird durch lokal auftretende geologische und hydro-chemische Faktoren stark beeinflusst. Grundsätzlich muss aber festgehalten werden, dass es trotz intensiver Forschungsaktivitäten noch immer keine eindeutige Klarheit bezüglich der Vermeidung von Schäden durch TSA gibt.

#### Weitere chemische Wechselwirkungen

Weitere Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit umfassen die Themenkreise Karbonatisierung, Chlorid und Porosität. Für manche Einsätze im Portalbereich oder bei Hangsicherungen ist auch Frostbeständigkeit XF3 gefordert, die als Vergleichsuntersuchung mitgeprüft wird.

#### Nachhaltigkeit

Gemäß EU-Bauproduktenrichtlinie müssen Bauwerke als Ganzes und in ihren Teilen für deren Verwendungszweck tauglich sein, wobei insbesondere der Gesundheit und der Sicherheit, der während des gesamten Lebenszyklus der Bauwerke involvierten Personen Rechnung zu tragen ist. Bauwerke müssen diese Grundanforderungen bei normaler Instandhaltung über einen wirtschaftlich angemessenen Zeitraum erfüllen. Diese Grundanforderungen beinhalten explizit die Nachhaltigkeit, wobei gemäß der nachhaltigen Nutzung der natürlichen Ressourcen ein Bauwerk derart entworfen, errichtet und abgerissen werden muss, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden. Sowohl bezüglich der Umweltwirkungen (CO<sub>2</sub> Emission und Primärenergiebedarf) als auch in Bezug auf die Dauer-

haftigkeit ist es vorteilhaft das Bindemittel zu optimieren. Im Forschungsprojekt wird angestrebt durch eine erhöhte Dauerhaftigkeit die Umweltbilanz der Spritzbeton-Rezepturen noch weiter zu verbessern.

#### Verarbeitbarkeit und Frühfestigkeit

Dauerhaftere und nachhaltigere Mischgüter dürfen nicht schlechter verarbeitbar sein oder gespritzt geringere Frühfestigkeiten erzielen, wie übliche Mischungen. Durch das MiniShot-Verfahren steht ein Laborspritzverfahren zur raschen kontinuierlichen Frühfestigkeitsmessung und Herstellung von Proben für Dauerhaftigkeitsuntersuchungen zur Verfügung [4]. Die Prüfung der Verarbeitungseigenschaften wird durch ein Gleitrohr Rheometer (Sliper) zur Abschätzung des jeweiligen Pumpendruckes ergänzt.

#### Forschungsstand

In den ersten Forschungsjahren wurden bereits einige interessante Ergebnisse erzielt. Dies sind aber Puzzle-Steine eines großen Mosaiks, das sich erst nach 4 Jahren gänzlich zusammenfügen sollte. Derzeit können folgende, vorerst noch unverbindliche, Ergebnisse berichtet werden.

- Trockenspritzbeton: Spritz-Bindemittel kann ohne Beeinflussung der Frühfestigkeitsentwicklung und Verarbeitbarkeit teilweise mit Zusatzstoffen ersetzt werden. Damit können niedrige RV-Werte und hohe Dauerhaftigkeiten erreicht werden.
- Vorversuche zeigen, dass nicht alle Verflüssiger ganz von der Wirkung des EB übersteuert werden.
- Nachhaltigkeitsbetrachtungen sind stark vom gewählten Ansatz abhängig. Erstarrungsbeschleuniger, Rückprall und Dauerhaftigkeit beeinflussen die Resultate.
- Das Konzept der „Dichten Packung“ [8] ist auch bei Spritzbeton zur Bindemitteloptimierung einsetzbar. Eine Kombination der hier angeführten Produkte erbringt einen Mehrwert.
- Optimierte Mischungen auf SR0- und HÜS-Basis [10] erreichen einen hohen Widerstand gegen Thaumazit/Sulfatangriff.
- Feinstkalzit hilft die Frühfestigkeiten anzuheben. Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit sind noch in Untersuchung.
- Metakaolin ist besonders effektiv zur Reduzierung des Versinterungspotentials einzusetzen [9].
- Reduktionen im Klinkergehalt und damit verbundene höhere Beschleunigerdosierungen können zu Festigkeitsabfällen gegenüber dem Nullbeton führen.
- Das MiniShot Spritzsystem samt dem Pulsment Auswertesystem sind ein effektives Hilfsmittel fürs Labor [11].
- Das Sliper ist ein nützliches Gleitrohr Rheometer zur Abschätzung der Verarbeitung. Einflüsse auf die Pumpbarkeit konnten herausgearbeitet werden [12].
- Die Dauerhaftigkeitszwischenergebnisse neuer Mischungen sind durchaus positiv.
- Im Vortrieb des Straßentunnels für das ZaB wurden bereits 75 m<sup>3</sup> mit einem optimierten Bindemittel erfolgreich gespritzt.

Mit dem Forschungsprojekt ASSpC kann somit ein entscheidender Entwicklungsschritt in der Spritzbetontechnologie getan werden, um sie den Herausforderungen unserer Zeit anzupassen. Eine Anzahl junger Forscher baut gleichzeitig vertiefte Kompetenzen für zukünftige Verbesserungen an Spritzbeton und Beton auf.

## Literatur

- [1] ÖVBB:  
Richtlinie Spritzbeton. Österreichische Vereinigung für Bautechnik, Wien, 2009.
- [2] Pauser, M., Mittermayr, F.; Kusterle, W.:  
Entwicklung neuer dauerhafter und nachhaltiger Spritzbetone. Forschungsantrag FFG Collective Research, unveröffentlicht, 74 S., 213 Zitate, 2016.
- [3] Kusterle, w., Thumann, M., Mittermayr, F.: ASSpC – Ein Forschungsprogramm für den Spritzbeton von Morgen. In: Kusterle, W. (Hrsg.): Spritzbeton-Tagung 2018, Tagungs-CD der 12. Fachtagung in Alpbach, 11.+12.1.2018, Eigenverlag, 2018.
- [4] Lindlar, B., Stenger, C., und Lootens, D.:  
Miniaturisiertes Laborspritzverfahren für Spritzbeton – neue Möglichkeiten der Produktentwicklung, Rezepturoptimierung und Qualitätskontrolle. In: Kusterle, W. (Hrsg.): Spritzbeton-Tagung 2015, Tagungs-CD der 11. Fachtagung in Alpbach, 29.+30. 1. 2015, Eigenverlag 2015.
- [5] Pichler, W., Wagner, H. und Insam, R.:  
Spritzbeton mit reduziertem Versinterungspotential- Praktische Anwendung auf österreichischen Großbaustellen. In: Kusterle, W. (Hrsg.): Spritzbeton-Tagung 2015. Tagungs-CD der 11. Fachtagung in Alpbach, 29.+30. 1. 2015, Eigenverlag, p. 11, 2015.
- [6] ÖNORM EN ISO 14044:  
Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen. 2018.
- [7] ÖBV:  
Merkblatt Festlegung des Reduzierten Versinterungspotential. Österreichische Vereinigung für Bautechnik, Wien, 2012.
- [8] Juhart, J., Briendl, L., Mittermayr, F., Thumann, M., Röck, R., Kusterle, W.:  
Optimierte Eigenschaften von Spritzbeton durch kombinierte Zusatzstoffe. In: Kusterle, W. (Hrsg.): Spritzbeton-Tagung 2018, Tagungs-CD der 12. Fachtagung in Alpbach, 11.+12.1.2018, Eigenverlag, 2018.
- [9] Sakoparnig, M., Baldermann, A., Thumann, M., Mittermayer, F., Kusterle, W.:  
Bestimmung der experimentellen Calcium-Auslaugung an Spritzbetonbohrkernen: Methodenvergleich und Update. In: Kusterle, W. (Hrsg.): Spritzbeton-Tagung 2018, Tagungs-CD der 12. Fachtagung in Alpbach, 11.+12.1.2018, Eigenverlag, 2018.
- [10] Stauffacher, A., Galan, I., Juilland, P., Thumann, M., Stenger, Ch., Baldermann, A., Mittermayer, F., Lindlar, B., Kusterle, W.:  
Einfluss von Hüttensand und ultrafeinem Kalksteinmehl auf die Hydratation von Jungem Spritzbeton. In: Kusterle, W. (Hrsg.): Spritzbeton-Tagung 2018, Tagungs-CD der 12. Fachtagung in Alpbach, 11.+12.1.2018, Eigenverlag, 2018.
- [11] Galan, I., Thumann, M., Briendl, L., Röck, R., Steindl, F., Juhart, J., Mittermayr, F., Kusterle, W.:  
From Lab Scale Spraying to Real Scale Shotcreting and Back to the Lab. 8<sup>th</sup> INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPRAYED CONCRETE – Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support – Trondheim, Norwegen, 11. – 14. Juni 2018.
- [12] Thumann, M., Kusterle, W.:  
Pumpability of wet mix sprayed concrete with reduced clinker content. 8<sup>th</sup> INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPRAYED CONCRETE – Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support – Trondheim, Norwegen, 11. – 14. Juni 2018.

## Autoren

M. Eng. Maria Thumann

Studium des Bauingenieurwesens an der OTH Regensburg, seit 2013 wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Ostbayerischen Technischen Hochschule in Regensburg  
[maria1.thumann@oth-regensburg.de](mailto:maria1.thumann@oth-regensburg.de)

Dipl.-Ing. Dr. techn. Joachim Juhart

Studium des Bauingenieurwesens und Doktorat an der TU Graz, Mitarbeit im Ingenieurbüro, Mitarbeiter im Baulabor der FH Kärnten, aktuell stv. Leiter des Instituts für Materialprüfung und Baustofftechnologie der TU Graz mit angeschlossener Zertifizierungs-, Überwachungs- und Prüfstelle  
[joachim.juhart@tugraz.at](mailto:joachim.juhart@tugraz.at)

Dr. Rudolf Röck

Studium der der Chemie und Physik an der Universität Innsbruck. Dissertation über Bindungsarten von Wasser in Calciumsilikathydraten. 1981-2012 Laborleiter und Leiter F&E beim Zementwerk Schretter & Cie. PostDoc am Inst. für Konstruktion und Materialwissenschaften, Universität Innsbruck  
*Rudolf.Roeck@uibk.ac.at*

Ass.-Prof. Dr. Andreas Saxer

Gelernter Physiker mit Nebenfach physikalische Chemie, seit 1990 an der Baufakultät der Universität Innsbruck mit Tätigkeit in den Bereichen Baustoffe und Bauchemie, Ass.-Prof. am Arbeitsbereich Materialtechnologie  
*andreas.saxer@uibk.ac.at*

Dr. Isabel Galan

Studium der Physik und Materialwissenschaften an der Universität Autonoma Madrid, Doktorat im Bereich Beton Dauerhaftigkeit an der Universität Complutense Madrid/CSIC. PostDoc an der Universität Aberdeen 2012-2016, seit Januar 2017 als PostDoc am Institut für Angewandte Geowissenschaften an der TU Graz  
*igalangarcia@tugraz.at*

Dr. rer. nat. Florian Mittermayr

Studium der Geowissenschaften an der Universität Innsbruck und TU Graz, Doktorat an der TU Graz, aktuell als PostDoc am Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie der TU Graz  
*f.mittermayr@tugraz.at*

Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Kusterle

Studium an der Universität Innsbruck, Mitarbeit im Ingenieurbüro, Dozent an der Universität Innsbruck. Beratungstätigkeit für Spritzbeton, Baustoffe im Tunnelbau, Betoninstandsetzung, Faserbetone, Brandschutz im Tunnelbau und Betontechnologie; seit 2001 Professor für Baustoffkunde an der Ostbayerischen Technischen Hochschule in Regensburg  
*wolfgang.kusterle@oth-regensburg.de*