

ENDBERICHT 1. FORSCHUNGSJAHR

FFG Projektnummer	856080	FörderungsnehmerIn	öbvGmbH
Bericht Nr.	1	Berichtszeitraum	01.07.2016- 30.06.2017
Bericht erstellt von	Prof. Wolfgang Kusterle, OTH Regensburg und Dr. Florian Mittermayr, TU Graz		

Richtwert für den Umfang: 10-20 Seiten

1. Ziele und Ergebnisse

Die technischen Ziele des Forschungsprojektes liegen in der Entwicklung und Bereitstellung von Spritzbetonen, welche hinsichtlich Dauerhaftigkeit die geplante Lebensdauer von Tiefbauten auch bei chemischem Angriff erreichen können ohne Einschränkungen bezüglich Robustheit, Vortriebsgeschwindigkeit und Sicherheit der Mannschaft in Kauf zu nehmen. Dabei sollen, im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung und des Klimaschutzes, Ressourcen effizient und nachhaltig eingesetzt werden. Zur Erreichung der Ziele sind Grundlageuntersuchungen zu den Reaktionsmechanismen bei der beschleunigten Hydratation und auch bei chemischen Angriffen, neue Prüfmethode, Labor- und Spritzversuche in unterschiedlichem Maßstab zielsicher auszuführen.

Das Erreichen dieser Ziele erfordert ein schrittweises Vorgehen im Projektzeitraum von 4 Jahren. Im ersten Forschungsjahr wurden die Grundlagen dazu gelegt und die dabei gesetzten Ziele erreicht.

Vorerst wurden für Österreichische Tunnels repräsentative Ausgangsstoffe sowie erfolversprechende Zusatz-/Zusatzstoffe ausgesucht und in ausreichender Menge für die Laborversuche besorgt.

In Laboruntersuchungen wurden neue optimierte Mischungszusammenstellungen erarbeitet. Das MiniShot-Verfahren gekoppelt an online Festigkeitsentwicklungsmessungen (Pulsment) und chemisch mineralogischen Untersuchungen zur Detektion von Phasenentwicklungen (XRD, Kalorimetrie, DTA) gestattete Spritzversuche im Kleinen und auch erste Untersuchungen zur Erfassung der Reaktionsabläufe. Zusammen mit einer Serie an rheologischen Untersuchungen, Abbindezeiten und Festigkeitsentwicklungen im Zementlabor konnten dann erste Trocken- und Nassspritzversuche durchgeführt werden. Verarbeitungsuntersuchungen an Nass-Mischgut auf Baustellen waren eine große Hilfe für die Beurteilung der Robustheit neuer Mischungen im Großversuch.

In Trockenspritzversuchen mit Spritz-Bindemittel konnte die Möglichkeit der Mischung mit verschiedenen Zusatzstoffen gezeigt werden. Ein vorgezogener Großspritzversuch für das Nassspritzverfahren wurde durchgeführt um zu sehen, ob das Konzept der dichtesten Packung auf Spritzbeton anzuwenden ist und wie sich ultrafeine Kalksteinmehle auf die Frühfestigkeit und Dauerhaftigkeit auswirken.

Außerdem werden grundlegende Reaktions- und Schädigungsmechanismen mit neuen Methoden erforscht, um später die Kenntnisse für die Herstellung von dauerhaften Spritzbetonen zu erweitern.

Mit einem motivierten Team junger Forscher in Zusammenarbeit mit Experten aus der Praxis konnte daher im 1. Forschungsjahr ein guter Grundstein für die ambitionierten Ziele dauerhafte und nachhaltige Spritzbetone zu erzeugen, gelegt werden.

2. Arbeitspakete und Meilensteine

2.1 Übersichtstabellen

Zur übersichtlichen Darstellung findet sich in Abbildung 1 der geplante Ablaufplan für das 1. Forschungsjahr, der in den folgenden Tabellen im Detail besprochen und geringe Änderungen erklärt werden.

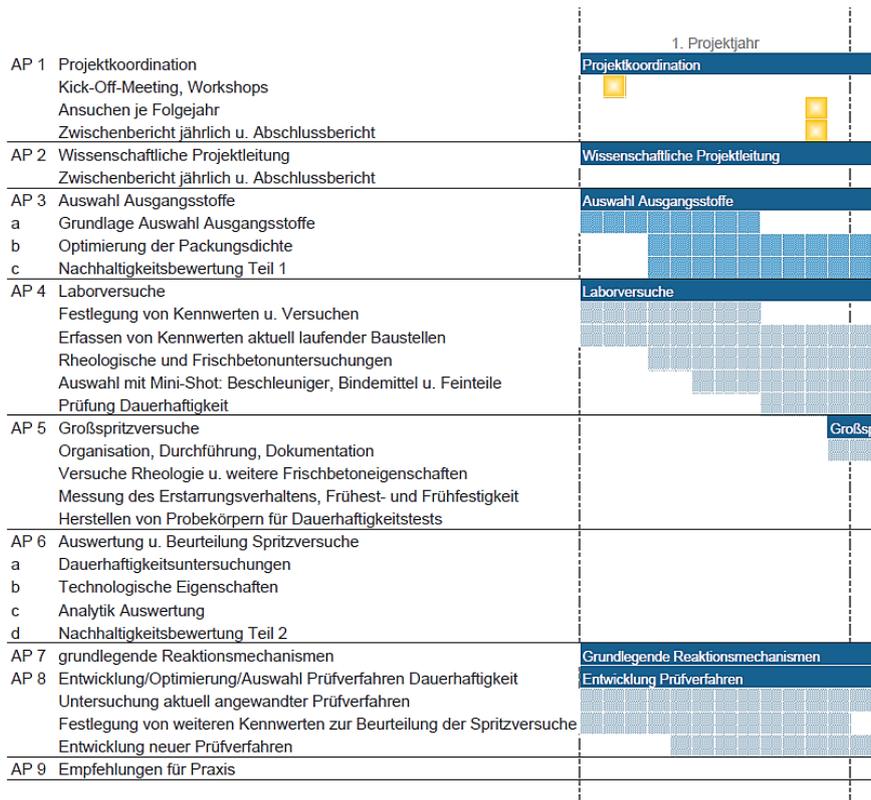


Abbildung 1: Balkenplan erstes Forschungsjahr aus Forschungsantrag

Tabelle 1: Arbeitspakete

AP Nr.	Arbeitspaket Bezeichnung	Fertigstellungsgrad auf Gesamtprojekt	Basistermin		Aktuell		Erreichte Ergebnisse / Abweichungen
			Anfang	Ende	Anfang	Ende	
1	Projektkoordination	25%	1.7.2016	30.6.2017	1.7.2016	30.6.2017	Planmäßig alles erreicht
2	Wissenschaftliche Projektleitung	25%	1.7.2016	30.6.2017	1.7.2016	30.6.2017	Planmäßig alles erreicht/ Aufwand höher als geplant
3	Auswahl Ausgangsstoffe und Leimentwicklung	80%	1.7.2016	31.10.2017	1.7.2016	31.7.2018	AP3a Auswahl Ausgangsstoffe abgeschlossen, Charakterisierung noch nicht in allen Punkten abgeschlossen. Weitere Stoffe können im Projektverlauf noch dazukommen. AP3b Untersuchungen zur dichtesten Packung durchgeführt, weitere Kombinationen sind geplant AP3c Nachhaltigkeitsbewertungen an Ausgangsstoffen und Diskussion der Systematik Großteils erledigt. Zusatzmittelbewertung sowie Bewertung der Rezepturen noch in Arbeit
4	Betonrezepturentwicklung, Laborvorversuche und Spritzbetonversuche im Labormaßstab	35%	1.7.16	31.6.19	1.7.16	31.6.19	Messverfahren zur Mischungsoptimierung erprobt, Baustellenuntersuchungen Großteils durchgeführt, Untersuchungen Gesteinskörnungen im Laufen, MiniShot-Versuche im Laufen

5	Großspritzversuche	15%	7/17	6/19	12/16	10/19	Erster Großspritzversuch bereits vorgezogen Erster Trockenspritzversuch abgeschlossen
6	Auswertung und Beurteilung der Spritzbetonversuche	7%	1/18	3/20	1/17	3/20	AP6a erste Dauerhaftigkeitsuntersuchungen laufen AP6b Durch erste Trockenspritzversuche bereits erste Festbeton-Ergebnisse AP6c erste Analysen laufen AP6d Nachhaltigkeit am Spritzbeton in Planung
7	Grundlegenden Reaktionsmechanismen	20%	7/16	5/20	7/16	5/20	AP7a Erste Untersuchungen an MiniShot-Proben durchgeführt AP7b Analytik und Modellbildung im Aufbau
8	Neuentwicklung, Optimierung und Auswahl von Prüfverfahren und Analysemethoden	15%	7/16	3/20	7/16	3/20	Ultraschallmethode wurde bereits eingesetzt Vorschläge für Analytik zur Dechiffrierung der Reaktionsabläufe gemacht und erste Einsätze durchgeführt
9	Empfehlungen für die Praxis und ggf. Anpassungsvorschläge für Normen und Richtlinien	0%	1/20	6/20	1/20	6/20	Im 4. Projektjahr

Tabelle 2: Meilensteine

Im Forschungsantrag wurden zu jedem Arbeitspaket mehrere Meilensteine formuliert

Meilenstein Nr.	Meilenstein Bezeichnung	Basis-termin	Aktuelle Planung	Meilenstein erreicht am	Anmerkungen zu Abweichungen
1	<ul style="list-style-type: none"> Projektbeginn (Kick-Off-Meeting) 3 Workshops mit allen Projektteilnehmern Jährliche Zwischenberichte Präsentation der Zwischenergebnisse mit Diskussion Industriebeteiligung Notwendige Maßnahmen zur wissenschaftlichen Projektweiterführung Ansuchen für Folgejahre Erstellung Kommunikationsplattform Abschlussbericht 	5.7.2016		5.7.2016	Nach dem 1. Jahr
		5.7.16, 14.12.16, 1.6.17 30.6.17	15.8.17	15.8.17	
2	<ul style="list-style-type: none"> Berichte mit Auswertungen je Forschungsjahr Projektende: Wissenschaftlich-Technischer Abschlussbericht inklusive Empfehlungen für die Praxis Veröffentlichung der Ergebnisse, Dissemination in der Branche Dissertationen und Publikationen 	30.6.17	15.8.17	15.8.17	
		30.6.17	15.8.17	15.8.17	
			11.1.18 11.1.18		
3	<ul style="list-style-type: none"> Auswahl und Beschaffung geeigneter Bindemittel, Zusatzstoffe, Zusatzmittel und Gesteinskörnungen Optimierte Rezepturen für Labor- und Großspritzversuche 	2/17		1/17	Charakterisierung und Auswahl einiger zusätzlicher Stoffe noch im 2. Forschungsjahr erforderlich Laufend iterativer Vorgang
		10/17	6/18		

	<ul style="list-style-type: none"> • LifeCycleAssessment Ausgangsstoffe • LifeCycleAssessment Spritzbeton • Berichtserstellung für AP 3 für Zwischenberichte u. Endbericht 	10/17	12/17		
		10/17	3/18		
			6/18		
4	• Entwicklung praxistauglicher Rezepturen, Ausloten Grenzen der Verarbeitbarkeit	6/19	6/19		Teilergebnisse liegen vor
	• Neue Erkenntnisse zu Kennwerten für praxistaugliche Spritzbetonrezepturen	6/19	6/19		Teilergebnisse liegen vor
	• Erkenntnisse zur Frühfestigkeitsentwicklung und ausreichend Proben für Dauerhaftigkeitsuntersuchungen	6/19	6/19		Teilergebnisse liegen vor
	• Vorauswahl der Ausgangsstoffe für Großspritzversuche	6/19	6/19		Für ersten Großversuch durchgeführt
	• Berichtserstellung für AP 4 für Zwischenberichte u. Endbericht	6/19	6/19		Zwischenberichte erledigt
5	• Erfolgreiche Durchführung der Spritzversuche mit neu entwickelten Rezepturen (Verarbeitbarkeit, Frühfestigkeit)	6/19	11/19		Erster Großspritzversuch abgeschlossen
	• Herstellung und Bereitstellung von geeigneten Probekörpern für Dauerhaftigkeitstests				Erster Trockenspritzversuch abgeschlossen
	• Berichtserstellung für AP 5 für Zwischenberichte u. Endbericht				
6	• Erfassung der entscheidenden Kenngrößen und Beurteilung des neu entwickelten Spritzbetons hinsichtlich Dauerhaftigkeit	3/20	3/20		Erste Arbeiten laufen
	• Nachhaltigkeitsbewertung unter Berücksichtigung der Dauerh.				In Planung
	• Verifizierung der Dauerhaftigkeit der entwickelten Spritzbetone und Gegenüberstellung mit Referenzen				Erste Arbeiten laufen
	• Berichtserstellung für AP 6 für Zwischenberichte u. Endbericht				
7	• Identifizierung und Aufklärung der Reaktionsmechanismen im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit des Spritzbetons	5/20	5/20		Im Anlaufen bzw. in Planung
	• Erkennen bisher nicht berücksichtigter Einflussfaktoren				
	• Berichtserstellung für AP 7 für Zwischenberichte u. Endbericht				
8	• Neue Erkenntnisse zur Festigkeitsentwicklung von Spritzbeton durch den Einsatz von Ultraschallgeräten	3/20	3/20		Arbeiten laufen
	• Neue Erkenntnisse zur Eignung von Prüfverfahren zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Spritzbeton				Arbeiten laufen
	• Prüfverfahren zur aussagekräftigen Überprüfung der Frühfestigkeit und Dauerhaftigkeit stehen zur Verfügung				
	• Berichtserstellung für AP 8 für Zwischenberichte u. Endbericht				
9	• Zusammenfassende Aufbereitung der Erkenntnisse für die Baupraxis	6/20	6/20		Im 4. Projektjahr
	• Vorträge und Publikationen				
	• Bekanntmachung und wenn möglich Einfließen der Ergebnisse in den Arbeitsgruppen der Regelwerke				

2.2 Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten

Wie aus den Tabellen 1 und 2 ersichtlich, konnten fast alle geplanten Forschungsaktivitäten durchgeführt werden. Ein kleiner Teil an Aufgaben wurde aus dem 2. Jahr vorgezogen.

AP 1 und 2 Projektleitung und Projektkoordination

Neben vielen Einzelgesprächen, kleineren Diskussionsrunden und Baustellenbesuchen wurden folgende Treffen abgehalten:

Kick-Off Meeting, Wien, 5.7. 2016

Arbeitsgruppensitzungen

- Trockenspritzen, Salzburg, 30. 8. 2016
- MiniShot, Zürich, 23. 11. 2016
- Dauerhaftigkeit, Reaktionsmechanismen, Prüfverfahren, Wien, 1. 12. 2016
- Nachhaltigkeit, Wien, 18. 1. 2017

Zwischensitzung, Wien, 14. 12. 2016

Jahresabschlussitzung, Wien, 1. 6. 2017

Organisations-Kommunikationsworkshop, Graz, 7. 10. 2016

Dissertanten-Workshop mit Baustellenbesuch, Semmering, 18.-20. 4. 2017

Außerdem wurden 3 Newsletter zur Information aller Vertreter der industriellen Partner versandt.

Über spezifische Versuchsdurchführungen wurden Berichte verfasst bzw. Bachelor- und Masterarbeiten erstellt.

AP 3 Ausgangsstoffe und Leimentwicklung

AP 3a Auswahl Ausgangsstoffe

Vorerst wurden für Österreichische Tunnels repräsentative Ausgangsstoffe sowie erfolgversprechende Zusatz-/Zumahlstoffe ausgesucht und in ausreichender Menge für die Laborversuche ausgewählt und an die Forschungspartner und teilweise zu Industriepartnern geliefert (Tab. 3). Die Spezifizierung der Eigenschaften erfolgte bei den Lieferanten und an der TU Graz. (Siehe Bericht Ausgangsstoffe, Laborversuche und dichteste Packung)

Als Zement wurde ein CEM I 52,5 R mit hohem C_3A und Alkaligehalt, einer mit niedrigen Werten und ein C_3A -freier Zement ausgewählt. Spritz-Bindemittel wurde von 2 Herstellern bezogen. Derzeit wird in Österreich kein C_3A -freies hergestellt. Hüttensand wurde in 3 Mahlfineinheiten zur Verfügung gestellt. Als Vergleich wird ein typisches AHWZ herangezogen. Weitere Stoffe unterschiedlicher Feinheit und Reaktivität sind Tabelle 3 zu entnehmen. Diese Stoffe sind u.U. in der Lage Zement zu ersetzen, Calciumhydroxid zu binden, durch ihre Korngröße zu einer dichten Packung des Bindemittels beizutragen. Zusätzlich werden verschiedene Verflüssiger und Erstarrungsbeschleuniger eingesetzt. Gesteinskörnungen werden lokal verwendet bzw. wurden enggestufte Dolomitzuschläge (Trockenspritzversuche) und Quarz (Laboruntersuchungen an der OTH und TU Graz) eingesetzt. Im Großspritzversuch wurden in Zams dolomitische Körnungen eingesetzt, dort wäre bei weiteren Versuchen auch der Wechsel auf quarzitisches Korngruppen möglich.

Tabelle 3: Ausgangsstoffe und einige bestimmte Parameter

	KÜRZEL	BET [m ² /g]	d ₅₀ [µm]
ZEMENT/Spritz-Bindemittel			
A CEM I 52,5 R	CEM-Hoch	1,32	7,1
B CEM I 52,5 R	CEM-Niedrig	1,18	8,8
CEM I 52,5 N C ₃ A-frei	CEM-SRO	0,96	8,0
Spritz-Bindemittel 1	SPBM-1	0,87	7,9
Spritz-Bindemittel 2	SPBM-2	1,03	8,0
MESOFÜLLER MEF			
Hüttensand 4000	MEF-HÜS-4000	0,72	10,9
Hüttensand 4500	MEF-HÜS-4500	0,91	8,6
Hüttensand 3000	MEF-HÜS-3000	0,57	16,5
Kombi AHWZ	MEF-AHWZ-KO	1,29	14,9
Flugasche EFA	MEF-FA-EFA	1,46	11,9
Quarzmehl 16900	MEF-QZ-16900	2,62	13,8
Kalkmehl 100	MEF-CAL-100	1,68	5,0
MIKROFÜLLER MIF			
Quarzmehl 105	MIF-QZ-105	3,05	4,4
Kalkmehl Extra GU	MIF-CAL-EGU	5,65	1,2
Kalkmehl Beto	MIF-CAL-BET	2,2	2,2
Dolomitmehl 10	MIF-DOL-10	2,44	2,8
Mikrosilika Q1	MIF-MS-Q1		nicht messbar
Mikrosilika 920	MIF-MS-920	20,00	nicht messbar
Mikrosilika 940	MIF-MS-940	16,91	nicht messbar
Metakaolin SF	MIF-MET-SF	8,59	2,1
Metakaolin PP	MIF-MET-PP	15,27	2,9
Metakaolin Met	MIF-MET-MV	9,19	1,9
Flugasche 10	MIF-FA-MCS10	1,94	3,4
Flugasche 20	MIF-FA-MCS20	1,38	6,1

Mit den Ausgangsstoffen wurden folgend angeführte umfangreiche klassische Laborvoruntersuchungen durchgeführt um ihre Eignung zu testen (siehe Bericht Ausgangsstoffe, Laborversuche und dichteste Packung):

- Abbindezeiten Spritz-Bindemittel
- Laboruntersuchungen Abbindezeiten und Festigkeiten (teilweise Komplettmischung und Vormischung)
 - Bandbreite marktüblicher Erstarrungsbeschleuniger
 - Festigkeitseinfluss Zusatz-/Zumahlstoffe
 - Wirkung von Feinststoffen
 - Wirkung von Feinstkalzit
 - Versuche mit Rezepten dichteste Packung
 - Einfluss verschiedener Fließmitteltypen auf die Festigkeitsentwicklung beschleunigter Mischungen

Der Unterschied in den Abbindezeiten ist bei Vormischung deutlich ausgeprägter. Der Unterschied bei den marktüblichen Erstarrungsbeschleunigern ist bis auf ein paar Ausreißer ziemlich gering. Feinstkalzit (MIF-CAL-EGU) scheint eine günstige Wirkung auf die Festigkeitsentwicklung zu haben (Abb. 1). Hochwirksame Fließmittel scheinen in Verbindung mit EB's keinen oder kaum Festigkeitseinfluss zu haben. Langzeitwirksame Fließmittel hingegen zeigen in der Regel in Verbindung mit EB's einen negativen Festigkeitseinfluss je nach Höhe der Dosierung (Abb. 2). Der Einfluss scheint bei CEM I niedrig noch höher auszufallen als bei CEM I hoch. Die Festigkeitsminderung nach 6 h scheint sich bis in die 28 Tage-Werte zu

erhalten. Der z.T. massive Einfluss verschiedener Fließmitteltypen auf die Festigkeitsentwicklung beschleunigter Mischungen, war im Vorfeld nicht bekannt hat aber enorme praktische Bedeutung. So wurden z.B. Festigkeitsunterschiede nach 6h um bis zu 50% festgestellt aber auch nach 28 Tagen war die Verminderung noch sichtbar. Dies bewegt uns dazu Untersuchungen in die komplexen Wechselwirkungen, die bei beschleunigten Systemen in Verbindung mit organischen Substanzen auftreten auszuweiten.

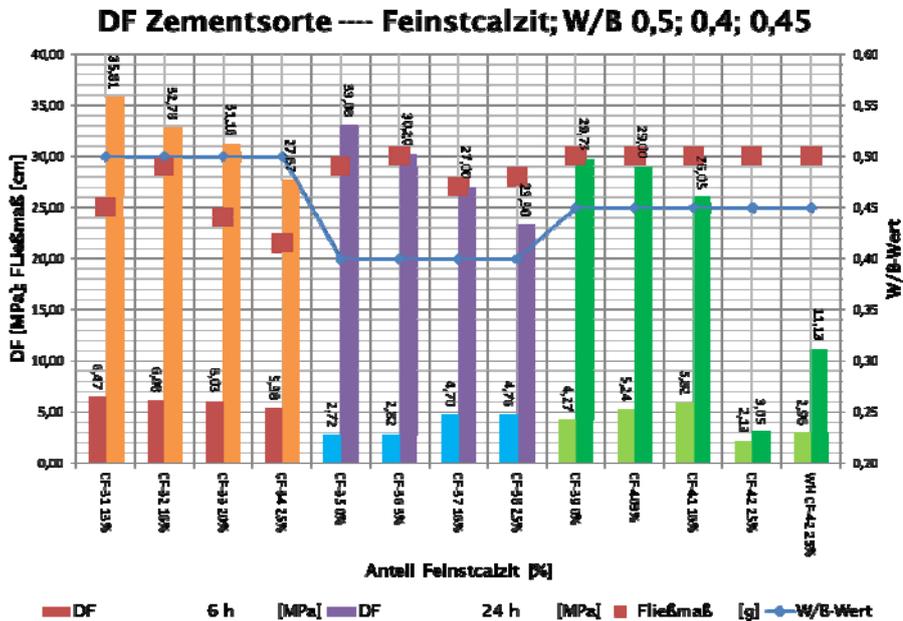


Abbildung 1: Fließmaß und Druckfestigkeit an Normenprismen nach 6 und 24 Stunden samt dazugehörigen W/B-Wert von Mischungen mit unterschiedlichen Gehalt an Feinstcalzit

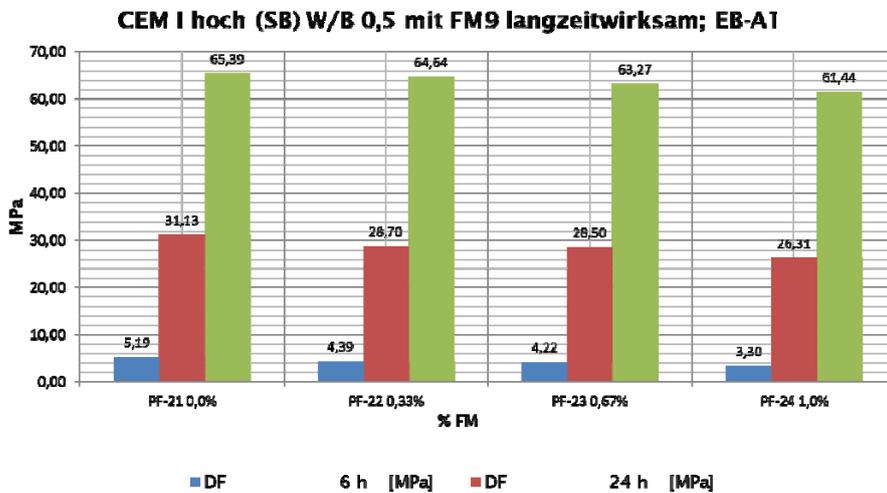


Abbildung 2: Druckfestigkeit nach 6, 24 Stunden und 28 Tagen an Normenprismen mit Erstarrungsbeschleuniger und langzeitwirksamen Fließmittel

AP 3b Optimierung der Packungsdichte

Untersuchungen zur optimalen Packungsdichte von Bindemitteln zur Reduzierung des Wasserbedarfs und zur optimalen Zusammensetzung waren ein weiterer Schwerpunkt der Untersuchungen (siehe Bericht Ausgangsstoffe, Laborversuche und dichteste Packung). Dabei wurde das als „Ma-S“ bezeichnete Verfahren, Mischenergie-Verfahren nach Marquardt kombiniert mit β_P (bzw. spread flow test) nach Okamura für experimentelle Bestimmungen herangezogen. Für die Berechnungen wurde das Modell CIPM (compaction interaction packing model) nach Fennis verwendet. Die ermittelten Packungsdichte-Mischungen sind das Ergebnis vieler rechnerischer und experimenteller Iterationen. Solche Bindemittel-Mischungen machen eine W/B-Reduktion (=W/P Reduktion) bei gleicher Verarbeitbarkeit möglich und ein erhöhtes Dauerhaftigkeitspotenzial durch geeignete hydraulische Zusätze (Abb. 3).

Auch eine hohe Frühfestigkeit mit reduziertem Klinkergehalt (durch Mikrofüller) wurde bereits in Laborversuchen bestätigt. Die herausgearbeiteten optimierten Bindemittel wurden dann in den anderen Versuchsreihen aufgenommen. Bisher wurde dieses Konzept noch nicht für Spritzbeton eingesetzt. Die Verifizierung muss daher in Spritzversuchen erfolgen.

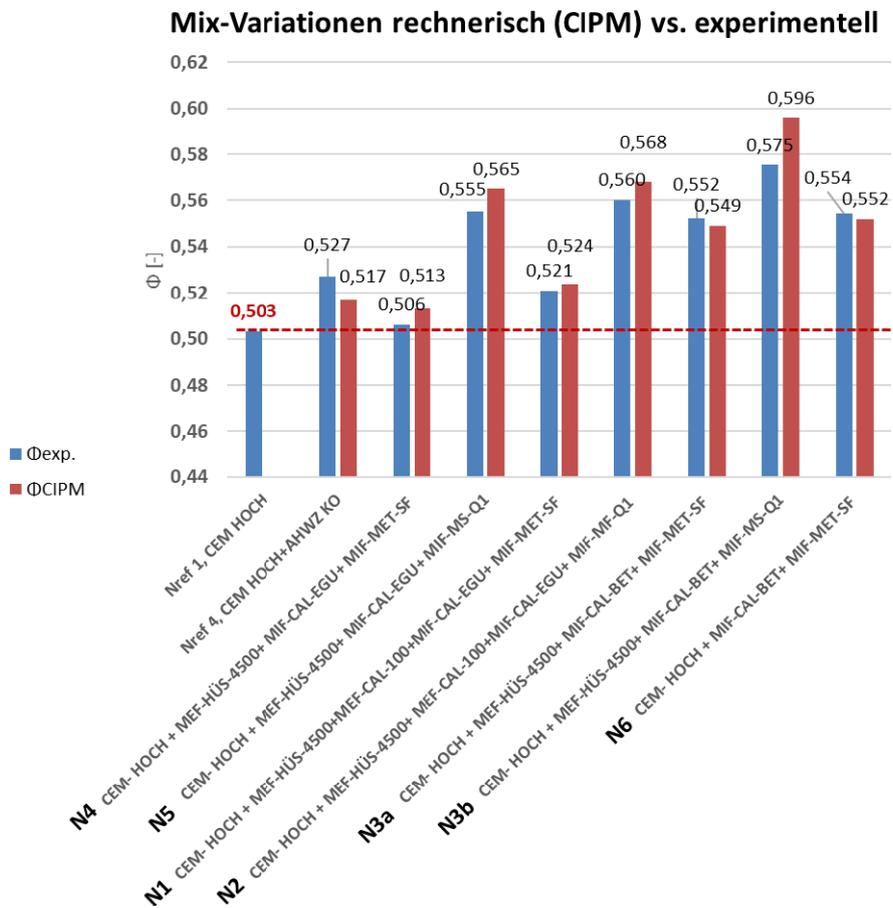


Abbildung 3: Rechnerische (rot) und experimentelle (blau) Packungsdichten Φ für unterschiedliche Mischungszusammensetzungen des Bindemittels

AP 3c Nachhaltigkeitsbewertung Ausgangsstoffe

Eine systematische Literatur-Recherche zum Life-Cycle-Assessment der Spritzbeton-Ausgangsstoffe, sowie deren LCA-Bewertungen war der Ausgangspunkt für die Nachhaltigkeitsbewertung. Hier lag der erste Fokus auf gängigen Kennwerten, wie z.B. der CO₂-äq. (GWP) und Primärenergie (PE) sowie einer Recherche der verwendeten Methoden zu deren Berechnung. Dabei wurde klar, dass unterschiedliche Ansätze und Annahmen auch zu konträren Ergebnissen führen können, beispielweise die Wahl von Allokationsmethoden, Datengrundlagen, Systemgrenzen, etc. Insbesondere wurde erkannt, dass für die im Spritzbeton notwendigen Zusatzmittel und Zusatzstoffe noch genauere Daten erhoben werden müssen, da in der Literatur kaum Daten vorhanden sind. In einer ersten Auswertung wurden die recherchierten Daten den eigenen gegenübergestellt und die Auswirkung auf die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsperformance der geplanten Rezepturen abgeschätzt (Lebenserwartung, Dauerhaftigkeit, Rezyklierbarkeit, Freisetzung von Schadstoffen, Einsatznutzen) (Details siehe Bericht Nachhaltigkeit).

AP 4 Betonrezepturentwicklung, Laborversuche und Kleinspritzversuche

Die Betonentwicklung beginnt systematisch bei den Ausgangsstoffen, am Leim und Mörtel und endet in Spritzversuchen. Im ersten Jahr ist nur ein Teil der Versuchsmatrix aus Abb. 4 abgearbeitet worden.

Die Entwicklung der Packungsdichte-optimierten Leime und Mörtel erfolgte gemäß Schema in Abb. 5. Mit den Kenngrößen der Ausgangsstoffe (Korngrößenverteilung KGV bzw. Partikelgrößenverteilung, Packungsdichte der Einzelstoffe) wurden optimale Mischungszusammensetzungen mit maximaler Packungsdichte berechnet (Anwendung CIPM mit einem software-tool) und in Versuchsreihen experimentell

verifiziert bzw. falls erforderlich die Mischungsverhältnisse modifiziert.

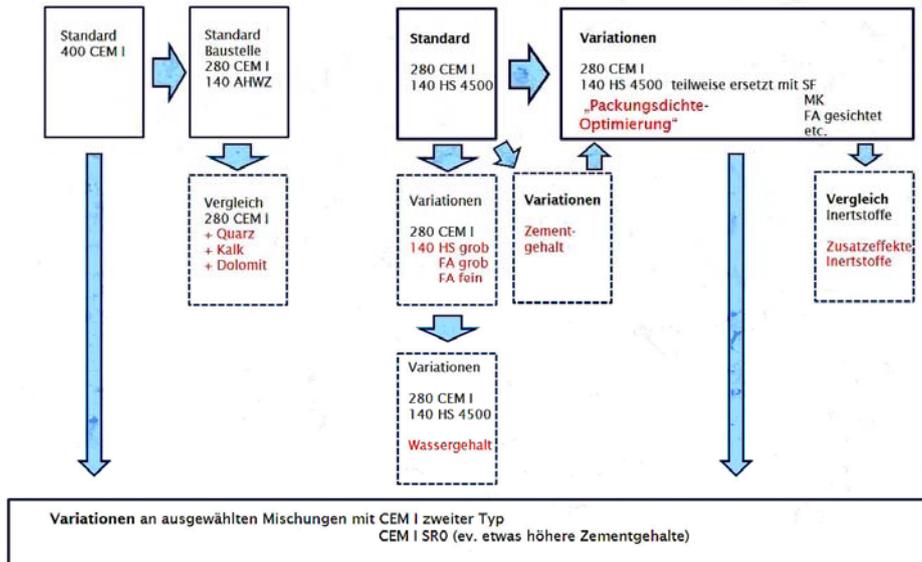


Abbildung 4: Versuchsmatrix Laborversuche Nassspritzverfahren. Es wird bei Extremmischungen begonnen und bei Bedarf verfeinert.

In anschließenden Versuchen am beschleunigten System (i.d.R. an Mörteln) wurde ermittelt, ob die definierten Zielgrößen (Verarbeitbarkeit, Frühfestigkeit) erreicht wurden. Wenn nicht, wurden die Zusammensetzungen (Stoffe, Mengenverhältnisse, W/B-Werte, Zusatzmittel) solange variiert, bis die Zielgrößen erreicht wurden (Iterationen). In Bezug auf die Dauerhaftigkeit wurden Stoffe und Mischungsverhältnisse gewählt, die eine Verbesserung erwarten lassen, was zu prüfen bleibt.

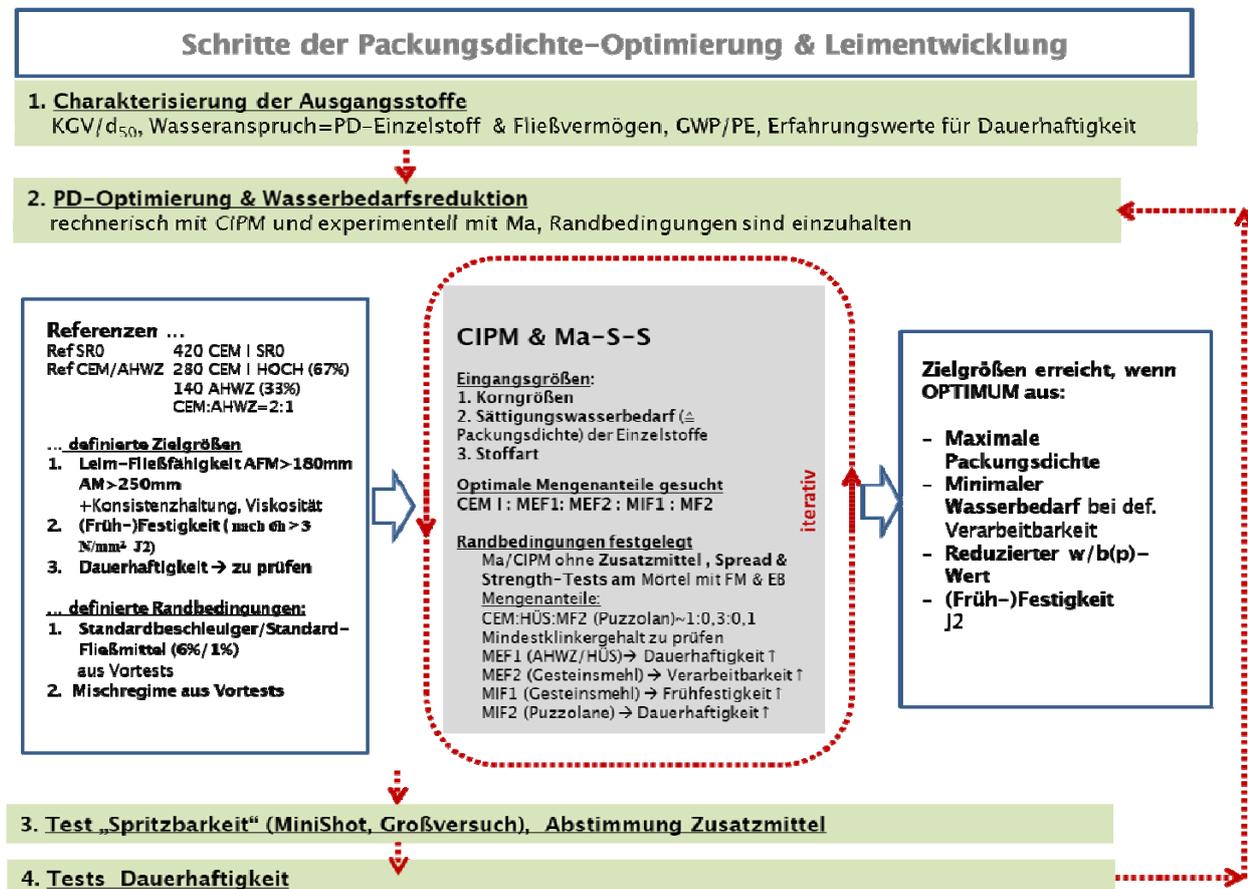


Abbildung 5: Schematisches Konzept der Packungsdichte Optimierung und Leimentwicklung für neue Rezepturen

Verarbeitungseigenschaften

Die Verarbeitungseigenschaften des Mischguts sind von entscheidender Bedeutung für die Robustheit des Spritzbetons. Neue Bindemittel und niedrigere Wassergehalte können jedoch zu rascherem Ansteifen und schlechterer Pumpbarkeit führen.

Um eine Referenz für die Prüfverfahren zu schaffen wurden 4 Baustellen besucht:

Oberau, Stuttgart Ulmerstraße, Alabstieg Zwischenangriff Lehrer Tal, Zierenberger Tunnel. Prüfungen am Brenner Basistunnel sind geplant.

Dabei wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

Übliche Frischbetonkontrollen: Ausbreitmaß, Luftgehalt, Dichte, Frischbetontemperatur

Zusätzlich Trichterauslaufzeit nach DAfStB RL SVB, Betonrheometer eBt2, Rohrrheometer Sliper (Abb. 6),

3 Stabilitätstests: Kübeltest, Filterpressversuch, Rohrversuch

Die Messeinrichtungen funktionieren verlässlich, Stabilität der Mischungen war auf allen Baustellen gegeben. Eine direkte Übertragung auf Labormischer war schwierig. Im Zuge der ersten Großversuche wurden die Prüfverfahren dann eingesetzt. (Siehe Bericht Verarbeitbarkeit)

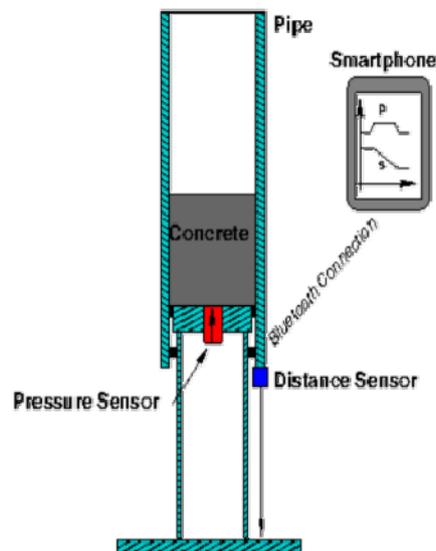


Abbildung 6: System des Sliper Rohrrheometer der Schleibinger Testing Systems zur Abschätzung des auftretenden Pumpendruckes in der Spritzmaschine. Der Versuch wird mehrmals mit unterschiedlichem Ballst am Rohrschaft gefahren, jeweils auftretender Druck und Verformung ermittelt.

Minishot

Das MinShot-Verfahren samt der Pulsment Messung gestattete Spritzversuche im Kleinen und auch erste Untersuchungen zur Erfassung der Reaktionsabläufe. Damit können in Laboruntersuchungen sinnvolle Mischungszusammenstellungen erarbeitet werden (Siehe Bericht MiniShot).

Bisher durchgeführte Versuche:

Einarbeitung und Anpassung der Mischungszusammensetzung samt FM

Variationen der Bindemittelzusammensetzung (Hüttensand, AHWZ, Metakaolin....) (Abb. 7)

Rezepturen für Großspritzversuche Zams

Proben für Reaktionsmechanismen (XRD, TGA, Kalorimetrie) siehe AP 7a

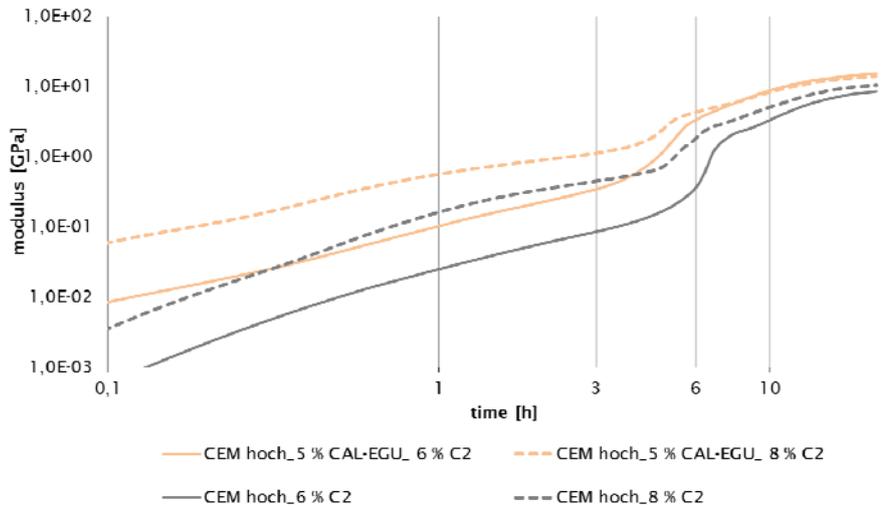


Abbildung 7: Schermodul über die Zeit mit Pulsment an mit MiniShot gespritzten Feinmörtelproben gemessen. 2 unterschiedliche Mischungen mit jeweils 6 und 8% Erstarrungsbeschleuniger

AP 5 Großspritzversuche

Ein vorgezogener Großspritzversuch für das Nassspritzverfahren wurde durchgeführt um zu sehen, ob das Konzept der dichtesten Packung auf Spritzbeton anzuwenden ist und wie sich ultrafeine Kalksteinmehle auf die Frühfestigkeit und Dauerhaftigkeit auswirken (Tab. 4). Nachdem die Dauerhaftigkeitsuntersuchungen lange Zeit beanspruchen, ist es sinnvoll bald Ergebnisse zu bekommen um die weiter Forschungsrichtung festlegen zu können. Der Versuch fand im Gelände der tba Zams statt. Die Ausgangsstoffe wurden teils vom Werk zudosiert, teils in Big-Bags eingewogen und zusätzlich aufgegeben. Der Auftrag erfolgte mit einer CIFA-Hittmayr Betonpumpe, die mit einem Spritzmanipulator kombiniert ist im EVI-Stollen. Geprüft wurden die Frischbetonkennwerte, die Frühfestigkeiten und der Rückprallanteil. Die Prüfung und Auswertung der Bohrkerne ist in Arbeit. (Bericht Nassspritzversuche Zams 1 ist in Vorbereitung)

Tabelle 4: Bindemittelrezepturen in % für den 1. Großspritzversuch:

Nummer	Bezeichnung	CEM HOCH (Zams) [%]	CEM SRO [%]	MEF-HÜS-4500 [%]	AHWZ-KOMBI (Zams) [%]	MIF-MS-Q1 [%]	MEF-CAL-100 [%]	MIF-MET-SF [%]	MIF-CAL-EGU [%]	Sorte FM [1 %]	7 % EB-Sorte	W/B
1	Ref. I		100							FM-9	C-2	0,469
2	Ref. II	67			33					FM-9	C-2	0,449
3	Feines Kalksteinmehl 1		90						10	FM-9	C-2	0,442
4	Feines Kalksteinmehl 2	95							5	FM-9	C-2	0,473
5	Dichteste Packung 1	54		16		7	10		13	FM-9	C-2	0,458
6	Dichteste Packung 2		60	18		7			15	FM-9	C-2	0,427
7	Reserve 1	54		16			10	7	13	FM-9	C-2	0,454
8	Reserve 2		70	20					10	FM-9	C-2	0,444

In den ersten Trockenspritzversuchen mit Spritz-Bindemittel konnte die Möglichkeit der Mischung mit verschiedenen Zusatzstoffen gezeigt werden (Tab. 5). Die Versuche fanden am Spritzstand im Zementwerk Wietersdorf statt.

Tabelle 5: Rezepturen Trockenspritzversuche 1

V.-Nr.	Bezeichnung
1	SPBM 1
2	SPBM 1 + 16 % MEF-AHWZ-KO
3	SPBM 2
4	SPBM 2 + 16 % MEF-AHWZ-KO
5	SPBM 2 + 10 % MEF-HÜS-4500
6	SPBM 2 + 20 % MEF-HÜS-4500
7	SPBM 2 + 30 % MEF-HÜS-4500
8	SPBM 2 + 10 % MIF-MET-SF + 10 % MEF-HÜS-4500
9	SPBM 2 + 7 % MEF-MS 940
10	SPBM 2 + 10 % MIF-FA-MCS10
11	SPBM 2 + 10 % MIF-MET-SF
12	SPBM 2 + 10 % MIF-CAL-EGU

Gesteinskörnung: Dolomit Eberstein, Größtkorn 7 mm

Die Frühfestigkeit J2 wurde bei allen untersuchten Rezepturen erreicht (z.B. Abb. 8). Die Verwendung von puzzolanischen und latent-hydraulischen Zusatzstoffen führte zu einer Reduzierung des Versinterungspotentials. Die bisher vorliegenden Ergebnisse sind im Bericht Trockenspritzen festgehalten (siehe Anlage Bericht Trockenspritzen).

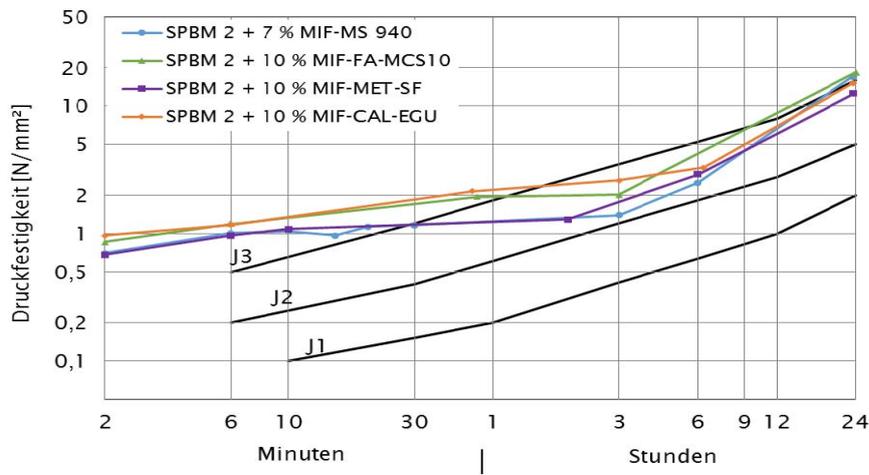


Abbildung 8: Frühfestigkeitsentwicklung (SPBM 2 mit 7 % MIF-MS 940, 10 % MIF-FA-MCS10, 10 % MIF-MET-SF, 10 % MIF-CAL-EGU)

Weitere Versuche mit Spritz-Bindemittel sind zu folgenden Fragestellungen geplant

2. Dichteste Packung
3. Rückprallreduktion, CAC
4. Ausgewählte Rezepte mit größerer Menge für Dauerhaftigkeitsuntersuchungen

AP 6 Auswertung und Beurteilung der Spritzbetonversuche (derzeit noch nicht bearbeitet)

AP 6a Experimente (begonnen)

AP 6b Technologische Eigenschaften

Für die erste Serie Trockenspritzen liegen die technologischen Ergebnisse vor (Abb. 9 und 10). Die Ergebnisse, zeigen, dass durchaus Potential besteht, die Spritz-Bindemittel mit intelligent ausgewählten Zumahl-/Zusatzstoffe zu vermischen ohne die hohen Frühfestigkeiten zu sehr abzumindern und dass es

gleichzeitig möglich ist den RV-Wert signifikant zu reduzieren. (Vom Großversuch Nassspritzen fallen die Untersuchungen ins 2. Forschungsjahr)

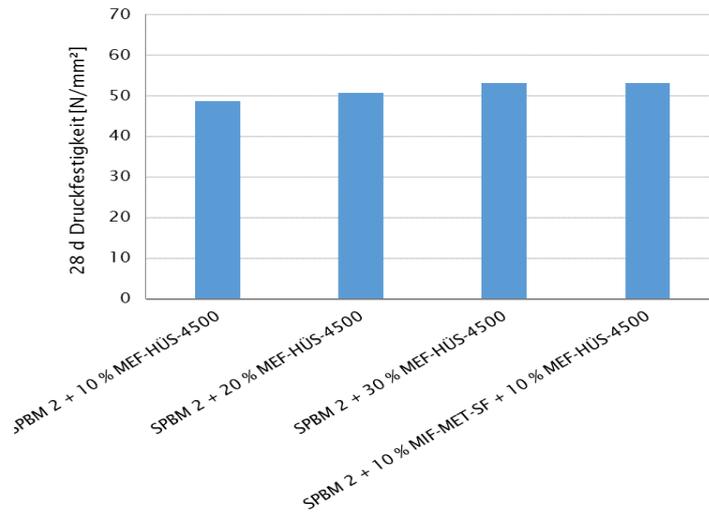


Abbildung 9: 28 d DF (SPBM 2 mit 10 %, 20 %, 30 % MEF-HÜS-4500 und 10 % MIF-MET-SF-4500 + 10 % MEF-HÜS-4500)

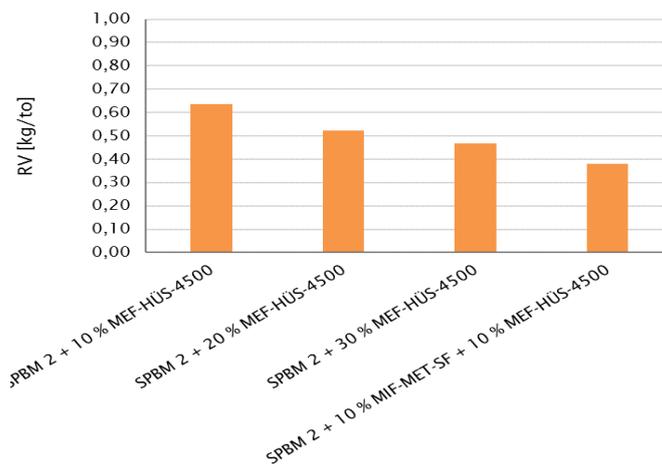


Abbildung 10: RV (SPBM 2 mit 10 %, 20 %, 30 % MEF-HÜS-4500 und 10 % MIF-MET-SF-4500 + 10 % MEF-HÜS-4500)

AP 6c Analytik und Auswertung (begonnen)

AP 6d Nachhaltigkeitsbewertung, Teil 2 Spritzbeton (derzeit noch nicht bearbeitet)

AP 7 Grundlegende Reaktionsmechanismen

Die grundlegenden Reaktions- und Schädigungsmechanismen wurde begonnen mit neuen Methoden zu erforschen, um später die Kenntnisse für die Herstellung von dauerhaften Spritzbetonen zu erweitern.

AP 7a: Spritzbetonherstellung

Hydratationsreaktionen sind von zentraler Bedeutung für die Frühfestigkeitsentwicklung von „jungem“ Spritzbeton. Erste Untersuchungen wurden am Feinstmörtel im Zuge der MiniShot-Versuche durchgeführt. Die MiniShot-Spritzversuche erfolgten im Nassspritzverfahren im Labormaßstab. Nach dem Spritzvorgang wurde die Entwicklung des Scher-Moduls über 24 Stunden aufgezeichnet. Der zeitliche Verlauf der Hydratationsreaktionen an den gespritzten Proben wurde mittels Kalorimetrie-, Röntgendiffraktometrie (RDA)- und Thermogravimetrie-Messungen untersucht. Die Methodenentwicklung und die Durchführung der o.g. Analytik erfolgten in enger Zusammenarbeit mit unserem industriellen Partner SIKA Technology AG.

Die kontinuierliche Messung der Kalorimetrie (Abb. 11) startete ca. 3 Minuten nach dem Spritzvorgang und erfolgte über einen Zeitraum von 24 Stunden bei 23 ± 1°C mit Hilfe eines isothermischen Kalorimeters.

(Details siehe Bericht Hydratation und Dauerhaftigkeit)

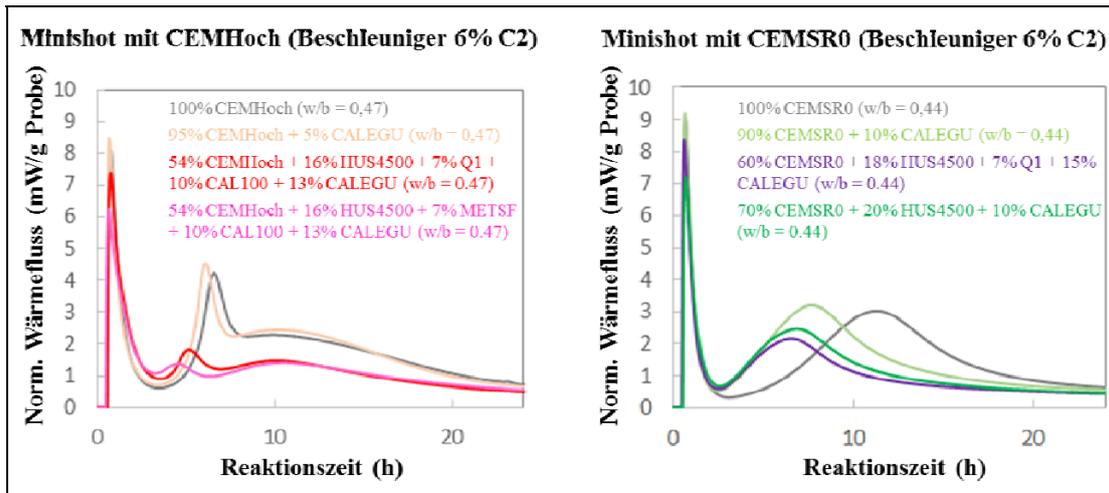


Abb. 11: Ergebnisse der Kalorimetrie-Untersuchungen von neu entwickelten Spritzbetonrezepturen, basierend auf (links) CEM-Hoch und (rechts) CEM-SR0 und deren Mischungen. Der Wärmefluss wurde auf die Gesamtprobenmasse normalisiert. Die W/B-Werte sind auf das Bindemittel bezogen. Die Fließmittelgehalte variierten je nach Verarbeitbarkeit zwischen 0,3-1,0 M.-% und der Anteil an Verzögerer betrug 0,5 M.-% (jeweils bezogen auf den Zement). Alle Mischungen wurden mit 8 M.-% Nefakfill zur Simulation des Anteils der Feinstfraktion in den Aggregaten gespritzt. Markant ist die früher einsetzende Silikahydratation durch die Zugabe von CAL-EGU, HUS-4500, Q1, CAL-100 und MET-SF im Vergleich zu den beiden Referenzproben CEM-Hoch und CEM-SR0. Die Mischungen mit C₃A-freiem CEM-SR0 weisen keine dritten Maxima in der Hydratationsentwicklung auf.

Die RDA-Untersuchung dieser (früh „abgestoppten“) Proben ermöglichte eine Korrelation dieses 1. Hydratationsmaximums mit der Bildung von Ettringit, welche durch die Zugabe des Beschleunigers begünstigt war, der Umwandlung von Anhydrit in Gips und der progressiven Hydratation von Aluminatphasen (Abb. 12).

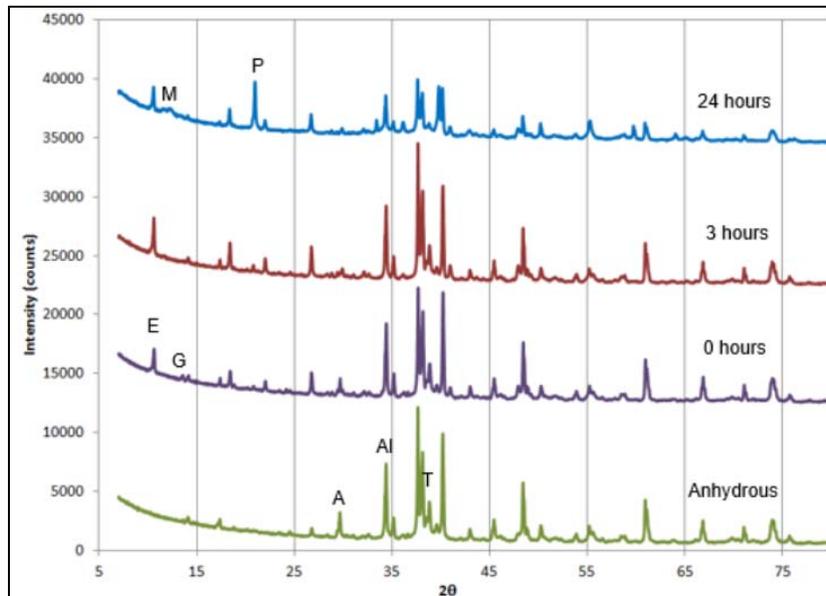


Abb. 12: Entwicklung der mineralogischen Zusammensetzung der Referenzprobe CEMHoch (stellvertretend für alle Mischungen dieser Serie) während der Hydratation im Zeitraum 0-24 Stunden. Die Hydratation wurde mit gekühltem Isopropanol zum jeweiligen Zeitpunkt der Reaktion „abgestoppt“. A – Anhydrit, Al – Alit, E – Ettringit, G – Gips, M – AFm, P – Portlandit, T – C₃A.

AP 7b: Dauerhaftigkeit und AP8 Neuentwicklung, Optimierung und Auswahl von Prüfverfahren und Analysemethoden

Eine Studie zur Synthese von C-S-H Phasen soll einen Beitrag zur Reaktivität und Stabilität von C-S-H Phasen mit variabler mineralogischer und chemischer Zusammensetzung leisten. Die Synthese von C-S-H Phasen mit bekannten Eigenschaften (u.a. spezifische Oberfläche, Ca/Si-Verhältnis) ist eine Grundvoraussetzung für die Bewertung der Dauerhaftigkeitseigenschaften von Spritzbetonen, da C-S-H Phasen als Hauptfestigkeitsbildner in Portlandzementen wirken (Abb. 13). Die hier verwendete Synthesemethode für C-S-H Phasen (Abb.14) basiert auf einem von Chen et al., 2004 (Cement Concrete Res. 34, 1499-1519) entwickelten Ansatz. Außerdem sollen die synthetisch hergestellten C-S-H Phasen für Reinsystemversuche wie z.B. für die Bildung von Thaumasil herangezogen werden. (Details siehe Bericht Hydratation und Dauerhaftigkeit)

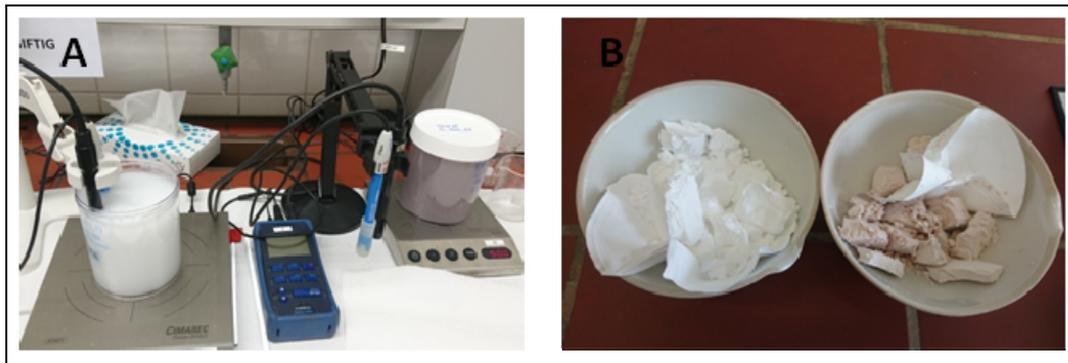


Abb. 13: A) Experimenteller Versuchsaufbau zur Synthese von C-S-H Phasen; zu sehen sind die 1 L Reaktorgefäße, die Magnetrührer und pH-, Temperatur- und Leitfähigkeitselektroden zum Monitoring der Entwicklung der Lösungsschemie. B) Syntheseprodukte nach der Trocknung.

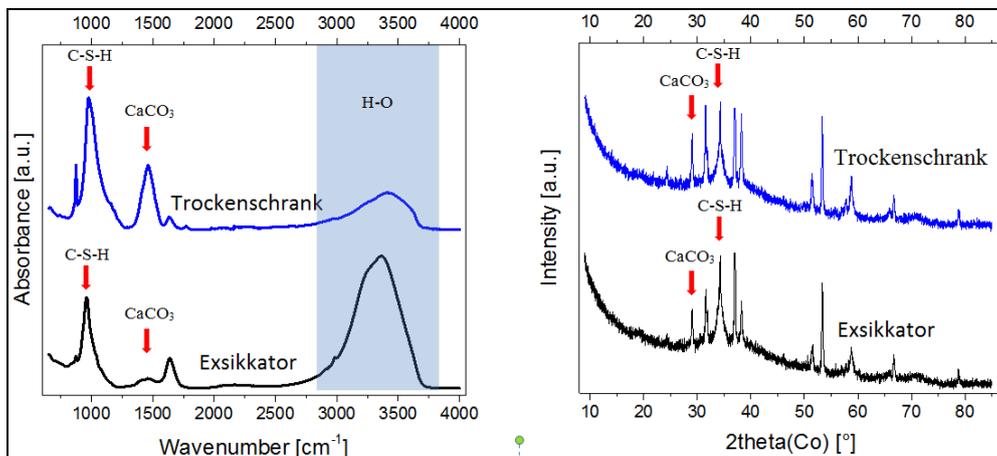


Abb. 14: A) IR-Spektren und B) Pulver-Röntgendiffraktogramme der Präzipitate (nach 2 Tagen Reaktionszeit) nach Trocknung im Exsikkator bzw. Trockenschrank. Es wurden C-S-H Phasen und Vaterit nachgewiesen;

Im Rahmen von laufenden Auslaugungsexperimenten wurden seit April 2017 an der Spritzbetonprobe SPBM-22 mehrere Versuche hinsichtlich des lösenden Angriffs und der korrespondierenden Stabilität von Spritzbeton in „weichen“ (geringe Ionenstärke) wässrigen Medien durchgeführt.

An zwei der Bohrkern (RV_3/1 und RV_3/2) wurde das „Reduzierte Versinterungspotential“ (RV) nach öbv-RL bestimmt. Die Bestimmung der Konzentration des freigesetzten Ca^{2+} erfolgte unter Verwendung einer ICP-OES (Haupt- und Spurenelementanalyse) an angesäuertem Probenmaterial. Bei einem weiteren Bohrkern (RV+_3) wurde das Eluat während des RV-Tests zusätzlich gerührt (Magnetrührer), um der Bildung eines Konzentrationsgradienten an der Grenzfläche Wasser-Spritzbeton entgegenzuwirken. An den restlichen Bohrkernen wurden Experimente zum Auslaugverhalten von Spritzbeton bei leichtem Säureangriff durchgeführt (Abb. 15).



Abb. 15: Experimenteller Versuchsaufbau zur Bestimmung des Auslaugerverhaltens von Spritzbeton bei leichtem Säureangriff. Links: Titration mit verdünnter HNO₃. Rechts: kontinuierliche Zugabe von CO₂. Die Entwicklung des pH-Wertes, der Temperatur und der spezifischen Leitfähigkeit wurde kontinuierlich aufgezeichnet.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen des RV-Tests wird bei den Versuchen zum Auslaugungsverhalten von Spritzbeton bei leichtem Säure-Angriff durch HNO₃ bzw. CO₂ deutlich mehr Ca²⁺ über den Untersuchungszeitraum freigesetzt. Dies liegt vor allem an der Durchführung der Experimente bei einem quasi-konstanten pH-Wert von ~6.0 ± 0.2. Dieser pH-Wert ist für die meisten Tunnelsysteme vergleichsweise niedrig (typisch eher pH 7-9), kann aber strecke-abschnittsweise bei magmatischen und metamorphen Gesteinen im Anstehenden bedeutsam sein. Die zeitliche Entwicklung der Lösungschemie ist in der Abbildung 16 gezeigt

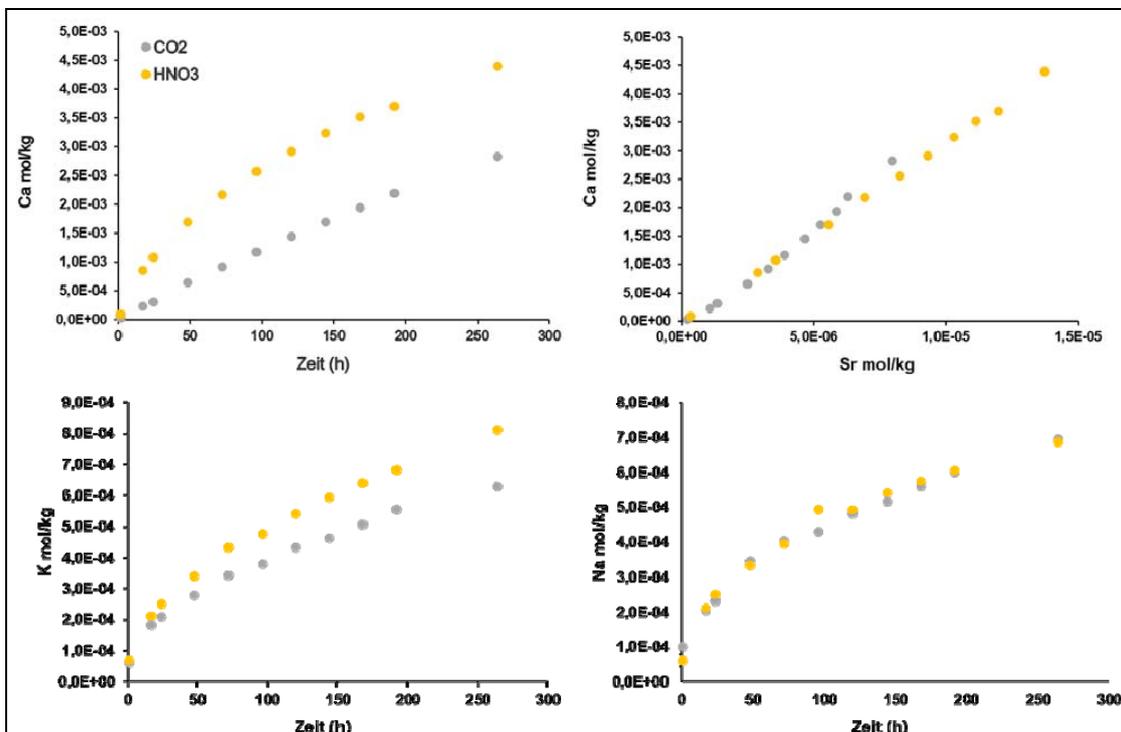


Abb. 16: Ergebnisse der Versuche zum Auslaugungsverhalten von Spritzbeton bei leichtem Säure-Angriff. Dargestellt sind die Änderungen in der Konzentration von Haupt- (Ca, K und Na) und Nebenkompnenten (Sr) bei einem konstantem pH-Wert von ~6.0. Bei dem leichten Säure-Angriff mittels HNO₃ lösen sich verstärkt Ca²⁺ und K⁺. Die lineare und positive Korrelation zwischen Ca²⁺ und Sr²⁺ verdeutlicht die progressive Auflösung von Portlandit und C-S-H Phasen; eine sekundäre Bildung von CaCO₃-Phasen kann aufgrund dieses Kurvenverlaufes ausgeschlossen werden.

Im direkten Vergleich der beiden Experimente ist erkennbar, dass (bei gleichem pH-Wert) mehr Ca^{2+} Ionen durch den HNO_3 -Angriff gelöst werden als durch den CO_2 -Angriff. Dieses Verhalten kann mit dem Säurebindungsvermögen von gelösten anorganischen Kohlenstoffspezies erklärt werden (siehe Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht), wobei bei leicht sauren pH-Wert das Dominanzfeld der HCO_3^- -Spezies vorherrscht, welches als pH-Wert Puffer fungiert.

Weiter wurden Laborversuche durchgeführt, welche die Dauerhaftigkeit von ausgewählten Spritzbetonrezepturen (Trockenspritzversuche vom Dezember 2016) hinsichtlich ihres Auslaugungsverhaltens und ihrer Resistenz gegenüber des externem Sulfatangriff evaluieren sollten.

Die Proben wurden mit einer Scheibenschwingmühle aufgemahlen, um eine höhere Oberfläche und eine höhere Reaktivität des Materials zu erzielen und mögliche (herstellungsbedingte) Effekte von Unterschieden in der Packungsdichte, Porenraumverteilung und Gesamtporosität zu reduzieren. Die Schädigungsgeschwindigkeit hängt fast immer von dem chemischen Reaktionspotential und der Dichtigkeit der Matrix ab. Jeweils 20 g der Feststoffe reagierten mit 1L Na_2SO_4 Lösung (10 g/L Sulfat) über einen Zeitraum von 7 Tagen. Die Entwicklung kritischer Kennwerte zur Dauerhaftigkeitsprüfung (pH, spezifische Leitfähigkeit, Temperatur) erfolgte kontinuierlich. Die zeitaufgelöste Entnahme von Flüssig- und Feststoffproben ermöglichte eine detaillierte Beschreibung der Reaktions- und Schädigungsmechanismen.

Die Analyse der Feststoffproben zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Reaktivität einzelner Komponenten in Bezug auf das Auslagerungsmedium: Dolomit, Calcit, Quarz und Feldspäte zeigen ein konservatives Verhalten im Reaktionszeitraum, wohingegen Portlandit, Gips und nicht-hydrierte Klinkerphasen (Alit und Belit) stark geleacht werden. Die Reaktionsprodukte des Auslagerungstests sind Ettringit und Calcit. Diese mineralogischen Befunde zeigen sich deutlich in der Reduzierung der CaO - und SiO_2 -Gehalte der Proben und in einer Zunahme der Konzentration von SO_3 und dem Glühverlust nach der Sulfatauslagerung. Es ist jedoch anzumerken, dass kein C_3A -freies Bindemittel bei diesen Versuchen eingesetzt wurde (C_3A -Gehalt im Spritz-Bindemittel ~11 wt.%) und dass alle Ausgangsstoffe und Alterationsprodukte eine ähnliche chemische Zusammensetzung aufweisen. Zum Beispiel ist das Ca -Leaching in den Proben 3/2 (SPBM-2 T pur), 4/3 (SPBM-2(300) + AHWZ(50)) und 5/2 (SPBM-2 + 10% Hüttensand) am effektivsten und in den Proben 7/2 (SPBM-2 + 10% Metakaolin), 9/3 (SPBM-2 + 30% Hüttensand) und 11/2 (SPBM-2 + 10% Hüttensand + 10% Metakaolin) am schwächsten ausgeprägt (Abb. 17). In diesem Zusammenhang muss ferner vermerkt werden, dass diverse, z.T. konkurrierende, Mineralphasenreaktionen mittels des neu entwickelten Versuchsaufbaus zeitlich aufgelöst werden konnten. Nach dem Zusammenstellen (geplant bis September 2017) der noch nicht vollständig ausgewerteten Daten (z.B. hydrogeochemische Modellierung) soll eine Massenbilanz erstellt werden, die den Massentransfer von Portlandit, C-S-H-Phasen und Klinkerphasen in sekundäre (und potentiell expansive) Sulfat- und Karbonatminerale zeigt.

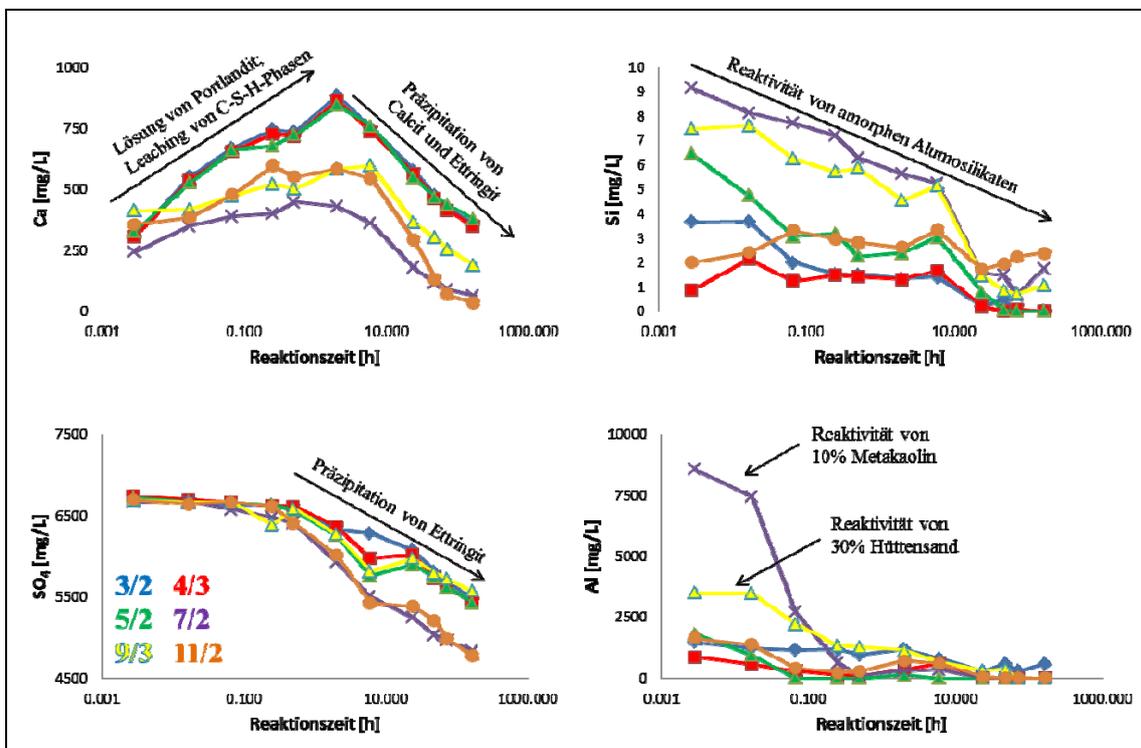


Abb. 17: Ergebnisse des Dauerhaftigkeitstests „kombinierter lösender Angriff und Sulfat-Resistenz“ basierend auf Pulverversuchen. Dargestellt sind die Änderungen in der Konzentration von Haupt- und Nebenkomponenten in der reaktiven Lösung.

AP9 Empfehlungen

Noch nicht relevant

Zusammenfassende bisherige Ergebnisse für die Praxis:

- Trockenspritzbeton: Spritz-Bindemittel kann teilweise mit Zusatzstoffen ersetzt werden. Auswirkungen auf Dauerhaftigkeit in Prüfung.
- Verflüssiger werden nicht ganz von EB übersteuert. Beim Spritzen noch zu verifizieren.
- Nachhaltigkeitsbetrachtungen stark von Ansatz abhängig.
- Dichteste Packung effektiv bei Spritzbeton-Leimen und Mörtelversuchen. Im Spritzversuch noch zu verifizieren.
- Feinstkalzit könnte helfen die Frühfestigkeiten anzuheben. Im Spritzversuch noch zu verifizieren und Auswirkung auf Dauerhaftigkeit beachten.
- MiniShot ist ein effektives Hilfsmittel fürs Labor.

3. Projektteam und Kooperationen

Folgende Mitarbeiter/innen wurden für das Forschungsprojekt eingestellt

Dissertanten/innen:

Marlene Sakoparnig

Florian Steindl

Maria Thumann

Marcella Ruschi Mendes Saade – Gastwissenschaftlerin von 10/2016 bis 01/2017

Anina Stauffacher: 02/2017 bis 08/2017

Postdocs:

Andre Baldermann

Rudolf Röck

Isabel Galan

Die Omya GmbH wird sich als Firmenpartner mit Bar- und Inkindleistungen beteiligen. Im ersten Forschungsjahr wurden bereits Inkind-Leistung in Form von Material Lieferungen erbracht.

4. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertung

Am Beginn eines 4-jährigen Forschungsprojekts wurden die Grundlagen gelegt. Endgültige Verwertungen sind daher noch nicht möglich und wären derzeit noch irreführend. Das Programm und erste Ergebnisse wurden den Partnern laufend vorgestellt und wurden jetzt auf 2 Fachtagungen angemeldet. Studentische Abschlussarbeiten sind bereits fertiggestellt worden bzw. sind in Ausarbeitung.

Anmeldung Shotcrete for Underground Support XIII Irsee, 9/2017:

- Maria Thumann, Wolfgang Kusterle: Durable and Sustainable Shotcrete – an Austrian Research Programme

Anmeldung Spritzbeton-Tagung 2018, Alpbach 1/2018:

- Kusterle, et.al ASSpC- ein Forschungsprogramm für den Spritzbeton von Morgen
- Stauffacher, Galan, Thumann, Stenger, Lindlar, Mittermayr, Kusterle
Frühe Hydratationsreaktionen von Spritzbeton
- Sakoparnig, M., Baldermann, A., Thumann, M., Dietzel, M., Kusterle, W., Mittermayr, F.
Bestimmung der experimentellen Calcium-Auslaugung an Spritzbetonbohrkernen:
Methodenvergleich und Update
- Juhart, Briendl, Mittermayr, Thumann, Röck, Kusterle
Optimierte Performance von Spritzbeton durch kombinierte Zusatzstoffe

Studentische Abschlussarbeiten:

- Nobiling, A. S.: Verarbeitbarkeit von Spritzbeton inklusive Durchführung von Frischbetonprüfungen auf Tunnelbaustellen. Masterarbeit OTH Regensburg 1/2017.
- Blinzler, S., Frisch, Th.: Dauerhaftigkeit von Spritzbeton - Untersuchungen hinsichtlich der Verwendung von Zusatzstoffen im Trockenspritzverfahren. Masterarbeit OTH Regensburg, 6/2017
- Menner J., Voith M.: Einflüsse auf die Verarbeitbarkeit von Nassspritzbeton. Bachelorarbeit. OTH Regensburg 2016.
- Landler, A.: Arbeitstitel: Versuche zur Synthese von C-S-H Phasen. M.Sc-Arbeit am Institut für Angewandte Geowissenschaften, TU Graz.
- Briendl, L.: Arbeitstitel: Early strength development of optimized shotcrete. M.Sc-Arbeit am Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie, TU Graz.
- Kjölbye Th. und Inkred K: Arbeitstitel: Kombiniertes lösender Angriff und Sulfatresistenz von Spritzbeton. B.Sc.-Arbeit am Institut für Angewandte Geowissenschaften, TU Graz.

Publikationen abgeschlossen:

- F. Mittermayr, A. Baldermann, C. Baldermann, G.H. Grathoff, D. Klammer, S.J. Köhler, A. Leis, L.N. Warr, M. Dietzel, Environmental controls and reaction pathways of coupled de-dolomitization and thaumasite formation, Cement and Concrete Research, 95 (2017) 282-293.

Publikationen in Bearbeitung:

- Review Artikel: Durability of Shotcrete (Leitung: Isabel Galan)
- Review Artikel: Environmental Comparison of Raw Materials for Shotcrete (Leitung: Alexander Passer)

5. Erläuterungen zu Kosten & Finanzierung

Wie bereits im Forschungsansuchen vermerkt, erfolgen die Inkindleistungen unregelmäßig über die Projektdauer verteilt. Durch Vorziehen des ersten Großversuchs wurden bereits im 1. Jahr Inkind-Leistungen von € **55555**.- statt € 37000.-. Wir bitten den Überschuss auf die nächsten Jahre anrechnen zu können.

6. Projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen

keine

7. Meldungspflichtige Ereignisse

Der industrielle Partner Firma G. Hinteregger & Söhne BaugesmbH wird von der PORR AG übernommen. Auswirkungen auf das Projekt sind noch nicht absehbar.

Anhang:

Bericht Trockenspritzten 1.FJ

Bericht Hydratation und Dauerhaftigkeit 1.FJ

Bericht Ausgangsstoffe, Laborversuche und dichteste Packung 1.FJ

Bericht Verarbeitbarkeit 1.FJ

Bericht Nachhaltigkeit 1.FJ

Bericht Minishot 1.FJ

Berichtsentwurf Großspritzversuch Zams 1.FJ