

Wir ersuchen um kurze und prägnante Ausführungen in den einzelnen Abschnitten (Richtwert: 10 bis 20 Seiten).

ENDBERICHT	Angaben zum Projekt
FFG-Projektnummer	879008
eCall-Antragsnummer	29959907
Kurztitel des Projekts	LumAConM
Förderungsnehmer oder Förderungsnehmerin	Österreichische Bautechnik Veranstaltungs GmbH
Berichtsnummer	2
Berichtszeitraum	[01.02.2020 bis 31.07.2021
Bericht erstellt von	Pauser, Silberknoll, Mayr, Müller, Grengg, Galan, Mittermayr, Steinegger, Sterz

1 ZIELE UND ERGEBNISSE

Wurden die dem Förderungsvertrag zugrundeliegenden Ziele erreicht?

JA

NEIN

Bei JA: Vergleichen Sie die Ziele mit den erreichten Ergebnissen.

Beschreiben Sie Highlights und aufgetretene Probleme bei der Zielerreichung.

Das übergeordnete Ziel des Projekts ist die Entwicklung und Anwendung neuer analytischer Methoden zur Erfassung von Korrosion in mineralischen Baustoffen und die Entwicklung neuer, nachhaltiger Baustoffe.

Für die Messanalytik werden neue optische Sensormaterialien für pH und Chlorid-Messung an Betonproben erarbeitet. Hierzu wurden mehrere neue Indikatorfarbstoffe für die Sensormaterialien erfolgreich synthetisiert. In situ, sowie bildgebende pH-Messungen sind jetzt in einem pH-Bereich von pH von 6.5 bis 13.3 möglich. Eine weitere Erhöhung des pH-Bereich wird im 2. Projektjahr angestrebt. Farbstoffe für die Chlorid-Messung wurden erfolgreich synthetisiert. Die Realisierung einer funktionellen Cl⁻-sensitiven Sensorschicht und deren Implementierung in ein funktionelles Messsystem um bildgebende Verfahren oder Messungen mit Sonden zu ermöglichen ist für das 2 Projektjahr geplant. Das moderne neue Kamerasystem zur Messung von Fluoreszenzlebenszeiten wurde erfolgreich in Betrieb genommen und angewendet.

Die neuen bildgebenden Messmethoden wurde erfolgreich zur Untersuchung der Karbonatisierung von Betonproben im Labor in einem internationalen Ringversuch angewendet und mit herkömmlichen Methoden verglichen. Die Karbonatisierungstiefen konnten hierbei mittels quantitativen pH Verteilungsbildern und weiterführenden pH-Profilen erfasst werden. In Kombination mit mineralogischer und mikrostruktureller Analytik konnten die gemessenen internen pH-Veränderungen mit fortschreitendem Karbonisierungsgrad mit der (Ca-)Lösung der einzelnen Hydratphasen (Portlandite und C-S-H Lösung; Kalzit Bildung) verknüpft werden. Weiters konnte mit den neuen pH-Sonden die Charakterisierung mineralogischer Phasenentwicklung während früher Hydratation erfasst werden. Das neue Messsetup erlaubt die *in situ* pH Messung während der frühen Hydratation von Zement-basierten Baustoffen im Zeitraum bis zu fünf Tagen.

Von besonderer Bedeutung für die Praxisanwendungen sind die Ergebnisse der optischen pH-Messung mit Sonden in Bohrlöchern (mit geringen Durchmessern von 4 mm) in verschiedenen Tiefenstufen. Die Karbonatisierungstiefe konnte eindeutig mittels optischer Bohrlochsonden festgestellt werden. Diese Messungen wurden durch pH-Messungen in aufgeschlämmtem Bohrmehl aus denselben Probekörpern verifiziert. Das Verfahren wird 2. Projektjahr weiterentwickelt, um eine Feldtauglichkeit zu erreichen.

Bei NEIN: Beschreiben Sie die Ergebnisse und begründen Sie die Änderungen oder Abweichungen. Hinweis: Änderungen von Zielen erfordern eine Genehmigung durch die FFG.

Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.

2 ARBEITSPAKETE UND MEILENSTEINE

2.1 Übersichtstabellen

Beschreiben Sie kurz den aktuellen Projektstand hinsichtlich der einzelnen Arbeitspakete und Meilensteine. Die Arbeitspakete sind inklusive Meilensteine analog dem Förderungsansuchen anzuführen.

Bei „Fertigstellungsgrad“ sind Prozentwerte einzutragen.

Tragen Sie unter „geplant“ den Zeitraum laut Förderungsansuchen und laut Vertrag gültigem Projektplan ein (zB 03/2020 bis 12/2020).

Tragen Sie unter „aktuell“ den Zeitraum der zum Zeitpunkt der Berichtslegung gültigen Planung ein (z.B. 04/2020 bis 01/2021).

Kommentieren Sie die erreichten Ergebnisse und Meilensteine oder Abweichungen.

2.1.1 Arbeitspakete (AP)

Duplizieren Sie die Tabelle je Arbeitspaket und achten Sie auf die Übereinstimmung mit den Angaben im eCall.

AP 1: Projektmanagement		geplant:	02.2020 – 07.2023
Fertigstellungsgrad: [33%]		aktuell:	02.2020 – 07.2023
Erreichte Ergebnisse und Meilensteine, Abweichungen	Das Kick-Off-Meeting, die Zwischensitzungen, die kaufmännische Koordination unter den Projektpartnern wurden durchgeführt, der Kurzbericht und der Endbericht wurden erstellt.		

AP2: [Wissenschaftliche Leitung]		geplant:	[02.2020] – 07.2023
Fertigstellungsgrad: [33%]		aktuell:	[02.2020] – [07.2023]
Erreichte Ergebnisse und Meilensteine, Abweichungen	Etablierung der Zusammenarbeit, Planung und Steuerung und administrative Abwicklung des Projektes bei den wissenschaftlichen Partnern. Abhaltung eines monatlichen Jour-Fix aller wissenschaftlichen Partner. Diskussion und Abstimmung der Projektergebnisse von Jahr 1 mit den Projektpartnern. Erstellung des Zwischenberichts für das 1. Forschungsjahr (M2.1)		

AP3: Sensormaterialien		geplant:	[02.2020] – 07.2023
Fertigstellungsgrad: [40%]		aktuell:	[02.2020] – 10.2022
Erreichte Ergebnisse und Meilensteine, Abweichungen	Erfolgreiche Synthese von 4 pH Indikatoren mit unterschiedlichem pKs Werten. Weiterer Farbstoff mit höherem pKa geplant. (M 3.1) Erfolgreiche Synthese von Chlorid-Indikatoren für zwei verschiedene Messkonzepte (M 3.2)		

AP4: Messmethodik		geplant: [02.2020] – 07.2023
Fertigstellungsgrad: [35%]		aktuell: [02.2020] – [07.2023]
Erreichte Ergebnisse und Meilensteine, Abweichungen	Adaption des bestehenden Imaging Systems (M 4.1) Inbetriebnahme FLIM Kamera; Adaption der Beleuchtung für größer Aufnahmefläche geplant (M 4.1)	

AP5: Prozessverständnis u. Labortests		geplant: [02.2020] – [07.2023]
Fertigstellungsgrad: [35%]		aktuell: [02.2020] – [07.2023]
Erreichte Ergebnisse und Meilensteine, Abweichungen	Abschluss entsprechend der Planung von M 5.1: Auswahl, Produktion und Charakterisierung relevanter Betonmischungen. Zusätzliche Definition und Ausarbeitung eines weiteren Milestones: M 5.1b: Charakterisierung mineralogischer Phasenentwicklung während früher Hydratation. Das neue Messsetup erlaubt die insitu pH Messung während der frühen Hydratation von zement-basierten Baustoffen (Zeitraum bis 5 Tage). Derzeitiger Status: Milestone in Ausarbeitung (Publikation eingereicht bei Fachjournal); geplante Fertigstellung Ende 2tes Forschungsjahr.	

AP6: Applikation u. Feldversuche		geplant: [08.2020] – [07.2023]
Fertigstellungsgrad: [25%]		aktuell: [08.2020] – [07.2023]
Erreichte Ergebnisse und Meilensteine, Abweichungen	Fertigstellung M6.1: Charakterisierung der in Österreich häufig auftretenden Problemfelder/Korrosionsangriffe. Erste Messungen an Proben von verschiedenen österreichischen Infrastruktureinrichtungen (Tunnel, Straßen, Kanalsysteme etc.) Initiale Laborversuche zur Entwicklung von feldorientierter Messanalytik.	

2.1.2 Durchgeführte Arbeiten und Veränderungen im Arbeitsplan oder in der Methodik

Beschreiben Sie die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten strukturiert nach den Arbeitspaketen. Konnten die Arbeitsschritte und -pakete gemäß Plan erarbeitet werden? Gab es wesentliche Abweichungen?

AP1: Projektmanagement

Im gegenständlichen Projektzeitraum wurden das Kick-Off Meeting, die Zwischensitzungen, die Kurzberichte für die ÖBV-Vorstandssitzungen und entsprechende Präsentationen erstellt. Weiters wurde die kaufmännische Koordination des Projektkonsortiums kontinuierlich betreut und abgewickelt.

AP2: Wissenschaftliche Leitung

Das Projekt wurde intern, wissenschaftlich, inhaltlich und terminlich koordiniert. Die institutsübergreifende Zusammenarbeit wurde etabliert, die Planung und Steuerung sowie administrative Abwicklung des Projektes bei den wissenschaftlichen Partnern wurde umgesetzt.

AP3: Sensormaterialien

1) pH-Indikator Entwicklung

Im 1. Projektjahr wurden insgesamt 4 verschiedene pH Indikatorfarbstoffe mit unterschiedlichen pKa Werten synthetisiert (Abbildung 1). Dabei wurden 3 Farbstoffe hergestellt, die bereits von Staudinger et al beschrieben wurden.¹ (Indikator 1- Messbereich pH 6.5 – 8.8); Indikator 2 – Messbereich pH 9.3 - 11.3; Indikator 3 – Messbereich pH 10,7 - 12,7) Für die pH Imaging Anwendung mittels t-DLR wurden dazu, wie bereits in zwei Publikationen beschrieben, Indikator 1 und Indikator 2 verwendet. Deren Kombination ergab eine Sensorfolie mit größeren pH-Messbereich von pH 6,4 bis 11,4. Indikator 3 wurde in Form von Sensor-Sonden für die Messung des pH's während der frühen Hydratation diverser Zemente verwendet. Diese konnten jedoch nicht zur Gänze aufgelöst werden, da der zur Verfügung stehende Messbereich bis pH

¹ Staudinger, C., Breininger, J., Klimant, I. & M. Borisov, S. Near-infrared fluorescent aza-BODIPY dyes for sensing and imaging of pH from the neutral to highly alkaline range. Analyst 144, 2393–2402 (2019).

13,2 von Indikator 3 nicht ausreichend abgedeckt wird.

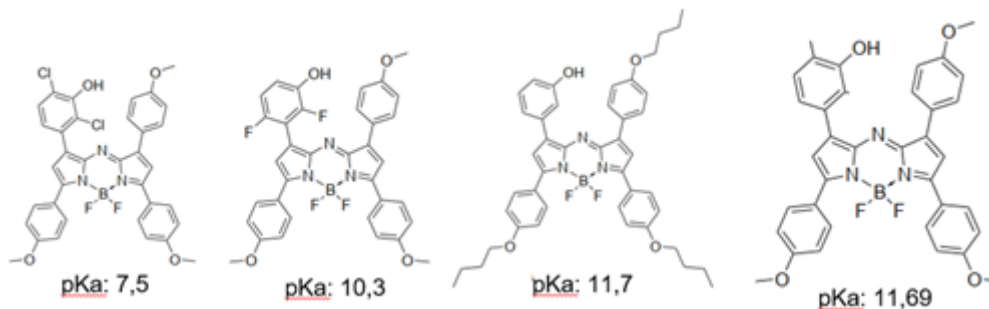


Abbildung 1: Erfolgreich synthetisierte pH Indikatoren inklusive ihrer pKa Werte. Der Messbereich der Sensoren ergibt aus $pH=pKa \pm 1$

Aus diesem Grund wurde versucht durch das Einführen einer elektronenziehenden Methyl-gruppe, eine zusätzliche Erhöhung des pKa Werts zu erzielen. Die Synthese dieses neuen Indikators 4 konnte erfolgreich durchgeführt werden. Bei der anschließenden Charakterisierung des Indikators wurde jedoch keine Erhöhung des pKa Werts festgestellt. Aufgrund der daraus gewonnenen Erkenntnisse, wird derzeit ein neuer Versuch unternommen, mittels sterisch anspruchsvoller Gruppen (t-Butyl) einen Indikator mit höherem pKa Wert (Zielwert = pKa 12,5) zu synthetisieren.

Wie bei allen Sensorsystemen, existiert auch bei dem hier verwendeten optischen Messsystem eine gewisse Temperatur-Querempfindlichkeit. Um den Temperaturanstieg während der Hydratation von Zement zu kompensieren wurden umfangreiche Temperaturkalibrationen der verschiedenen Indikatorfarbstoffe durchgeführt, um den linearen Temperaturkoeffizienten zu ermitteln.

2) Chlorid-Indikator Entwicklung

Für die Herstellung von chlorid-sensitiven Indikatoren wurden zwei verschiedene Herangehensweisen gewählt. Einerseits wurden fluoreszierende, andererseits phosphoreszierende chlorid-sensitive Farbstoffe entwickelt.

2a) Fluoreszierende chlorid-sensitive Farbstoffe

Das geplante Ausleseprinzip für fluoreszierende Cl-sensitive Farbstoffe funktioniert analog zum Prinzip für pH Indikatoren mittels „dual lifetime referencing“ (DLR). Dazu wird grundsätzlich zusätzlich zum Indikator ein spektral passende Referenzkomponente benötigt. In einem Ersten Versuch wurde Lucigenin (N,N'-Dimethyl-9,9'-bisacridiniumnitrat) aufgrund seiner chlorid-sensitiven Eigenschaften im relevanten Konzentrationsbereich näher charakterisiert. Dafür wurde Lucigenin in Nafion®-Polymer immobilisiert und die Querempfindlichkeit gegenüber hohen Ionenstärken, hohen pH-Werten und Sulfat-Konzentrationen untersucht. Mit Hilfe eines Referenzfarbstoffes

(Ruthenium-Komplex) wurde ein DLR-System hergestellt welches mittels blauen Licht angeregt und via Lock-In Verstärker charakterisiert wurde.

Zur Verbesserung der optischen Eigenschaften von Lucigenin wurden zwei verschiedene Strategien angewendet (Abbildung 2). Einerseits wurde das π -System der Acridin-Fragmente von Lucigenin durch zusätzliche konjugierte Gruppen erweitert (Strategie 1). Andererseits wurde die Rigidität des Moleküls durch eine zusätzliche Verbrückung erhöht (Strategie 2).



Abbildung 2: Struktur von Lucigenin und den zwei verfolgten Strategien zur Verbesserung der optischen Eigenschaften.

Strategie 1 führte zu sehr unlöslichen Molekülen wodurch die Synthese und Aufreinigung erschwert wurde. Mit Strategie 2 konnten sehr erfolgsversprechende Indikatoren synthetisiert werden, wobei zwei Sensormoleküle, N,N'-Dimethyl-Diaza-Dibenzoperyleniumdimethylsulfat und N,N'-Dimethyl-Diaza-Dibutyl-Dibenzoperyleniumdimethylsulfat, in weiterer Folge im Detail charakterisiert wurden. Beide Indikatoren weisen vielversprechende Eigenschaften hinsichtlich ihrer Sensitivität und ihrer spektralen Eigenschaften auf. Die Indikatoren werden in zukünftigen Versuchen in Sensorschichten mit Referenzfarbstoffen kombiniert, um die Sensorschichten mit der oben genannten DLR-Methode, mit portablen und Kamerasystemen, auslesen zu können.

2b) Phosphoreszierende Chlorid-sensitive Farbstoffe

Farbstoffe, deren Phosphoreszenz-Lebenszeit sich direkt in Abhängigkeit zur Chloridkonzentration ändert, können zur selbstreferenzierten Messung verwendet werden, d.h. im Gegensatz zum DLR-basierten Zugang ist kein weiteres Referenzmaterial notwendig. Um für gängige und portable Instrumente messbar zu sein, muss die Lebenszeit im μs -Bereich liegen. Zu den Farbstoffklassen mit entsprechenden Lebenszeiten zählen Metalloporphyrine und cyclometallierte Iridium Komplexe. Aus Forschungsgruppen-internen Ergebnissen war bekannt, dass Pt(II) Tetrakis-N-Methylpyridiniumporphyrine auch die notwendige Chloridsensitivität aufweisen. Zur Chloridmessung sind hydrophile Matrixmaterialien (Polyacrylamide (PA), Polyurethanbasierte

Hydrogele, pHEMA, etc.) zur Immobilisierung dieser Farbstoffe notwendig. Um eine dauerhafte Immobilisierung zu gewährleisten wurden drei dieser Porphyrine mit verschiedenen Ankergruppen synthetisiert (Abbildung 3). Verbindung 1 kann über eine photokatalysierte Kopplungsmethode an Polymeren mit Acrylamid oder Acrylonitril-Bestandteilen kovalent gekoppelt werden. Verbindungen 2 und 3 wurden mit Alkylketten ausgestattet, die eine rein physikalische Immobilisierung in hydrophoberen Domänen der Polyurethan-basierten Hydrogele ermöglichen sollten.

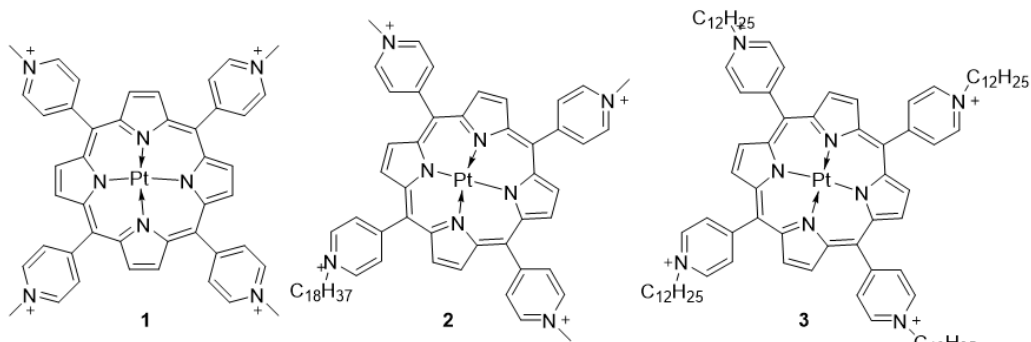


Abbildung 3: Chemische Strukturen der hergestellten *N*-methylpyridinium substituierten Pt(II) Porphyrine.

Verbindung 2 und 3 wurden nicht für weitere Kalibrationen verwendet, da in Hydrogelen (Hydromed D1 und D4) Farbstoffverlust durch Auswaschen in die Probenlösung ersichtlich war und die Lebenszeit nach Immobilisierung nicht mehr Chlorid-empfindlich war (die Intensität blieb zwar weiterhin sensitiv, würde aber wieder ein Referenzmaterial erfordern). Verbindung 1 wurde auf Polyacrylamid immobilisiert und weist keine Auswaschungseffekte auf und ist weiterhin Chlorid-empfindlich (Abbildung 4).

Um Polyacrylamid Sensorschichten herzustellen können die PA Schichten direkt auf das Trägermaterial polymerisiert werden oder mit dem Farbstoff gefärbte Polyacrylamide-Partikel werden in anderen hydrophilen Polymeren immobilisiert. Bei den frisch polymerisierten Schichten ist die Reproduzierbarkeit und die mechanische Stabilität schlecht, beim Partikel-basierten Ansatz sind diese Probleme zwar beseitigt, aber bei den verwendeten Kombinationen (PA-Partikel in Hydrogel D1, D4 oder pHEMA) änderte sich die Chlorid Empfindlichkeit (nur mehr äußerst geringe Lebenszeitänderung trotz guter Intensitätsänderung).

In Abbildung 4A ist eine Chlorid-Kalibration mit polymerisierten PA-Schichten dargestellt. Im Stern-Volmer-Plot (Abbildung 4B) ist zu sehen, dass die Dynamik verhältnismäßig gering ist. Im Weiteren konnte dies darauf zurückgeführt werden, dass ein Großteil der Helligkeit des Farbstoffes bereits durch Sauerstoff gelöscht wurde (Sprung deoxygenated auf 0 mM Cl⁻ in

Abbildung 5). Dies ergibt sich aus der unerwartet langen Lebenszeit des Farbstoffes auf Polyacrylamid.

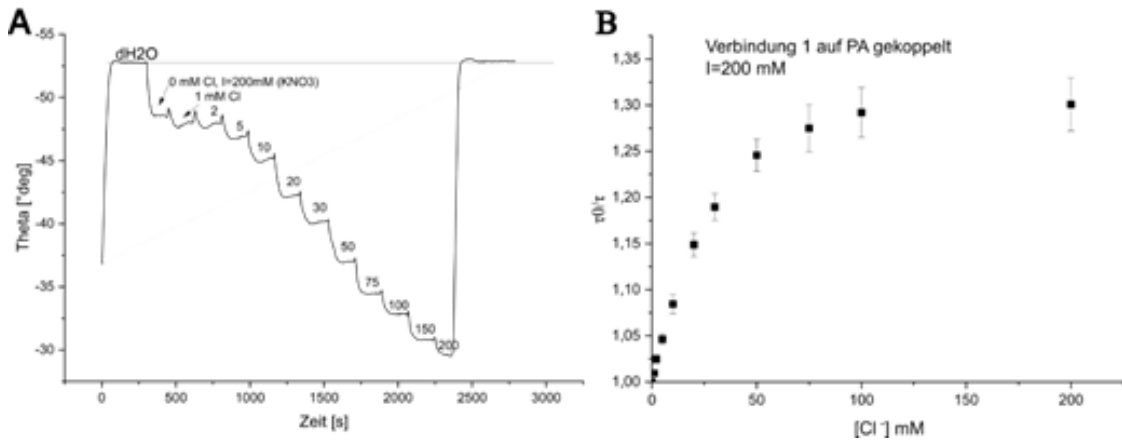


Abbildung 4: Chlorid Kalibration von Verbindung 1 auf polymerisierte PA-Schichten gekoppelt. A Phasenwinkel in Abhängigkeit von der Chlorid Konzentration. B Stern-Volmer Auftragung der Lebenszeit in Abhängigkeit von der Chlorid Konzentration.

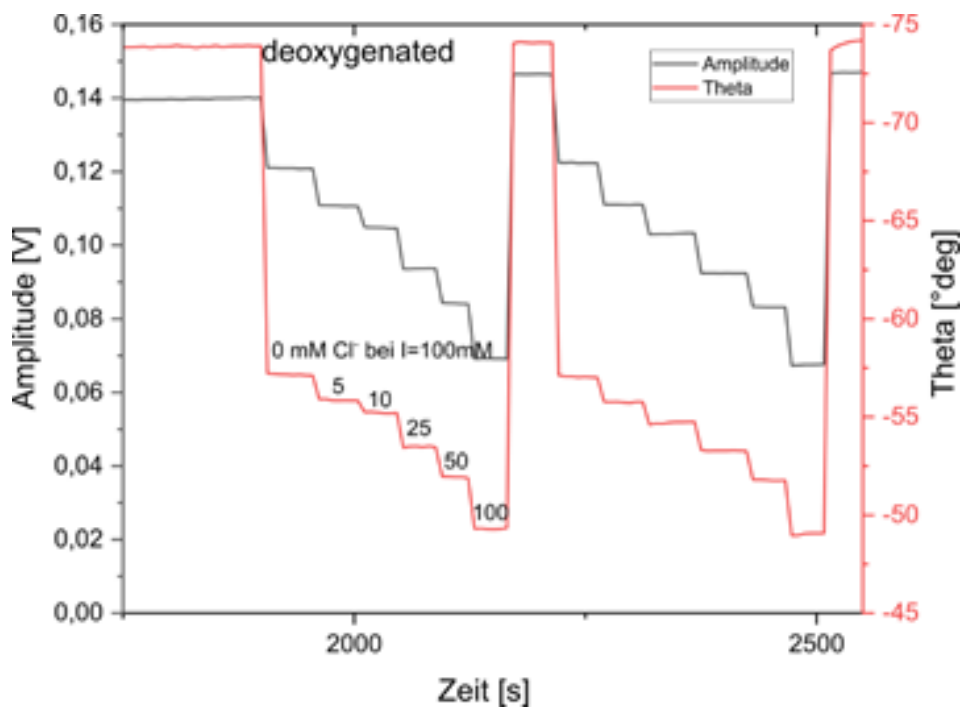


Abbildung 5: Chlorid Kalibration von Verbindung 1 auf PA-Partikel gekoppelt in Dispersion in Vergleich zu Sauerstoff-freien, demineralisiertem Wasser.

Zusammenfassend lässt sich ausführen, dass Verbindung 1 auch nach Immobilisierung eine chloridsensitive Lebenszeit aufweist. Dies aber eine sehr

hydrophile Matrix erfordert, was aber die Optimierung der Sensorherstellung, besonders der Matrix, schwierig macht. Durch die verhältnismäßig lange Phosphoreszenzlebenszeit wird die verfügbare Helligkeit des Farbstoffes durch Sauerstoffquenching eingeschränkt, was wiederum zu einer geringeren Dynamik führt. Die mit Verbindung 1 hergestellten Sensormaterialien sind ausreichend für Messungen im Labor, aber nicht für die praxisorientierte Anwendung geeignet. Aus diesem Grund werden in zukünftigen Arbeiten die in Punkt 2a vorgestellten fluoreszierenden Materialien in Kombination mit der DLR-Methode für die Chlorid-sensor Entwicklung verwendet.

AP4: Messmethodik

Kamera-Systeme

Für das bereits existierenden pH Imaging t-DLR (time-domain dual lifetime referencing) Messsystem wurden neue Folien hergestellt um Proben der Projektpartner zu analysieren. Das System wurde außerdem hinsichtlich der Beleuchtung verbessert, in dem es um neue Highpower LED's und ein neues Netzteil erweitert wurde.

Neben dem existierenden Kamerasystem wurde zusätzlich das neue FLIM Kamerasystem von PCO in Betrieb genommen. Dieses Messsystem ermöglicht die direkte Analyse von Lebenszeiten von Fluoreszenzindikatoren. Mit dem derzeit installierten Beleuchtungssystem kann damit eine Fläche von ca. 3x4 cm analysiert werden. Für die Auswertung der Bilder wurde hierzu ein Python-Skript etabliert.

Da die Lebenszeit der derzeit verwendeten pH Indikatoren keine direkte Abhängigkeit zum pH zeigen, wird das Messsystem für pH via f-DLR (frequency-domain dual lifetime referencing) betrieben. Damit konnte erfolgreich eine pH Kalibration durchführ werden und die Einsatzfähigkeit gezeigt werde. (siehe Abbildung 6)

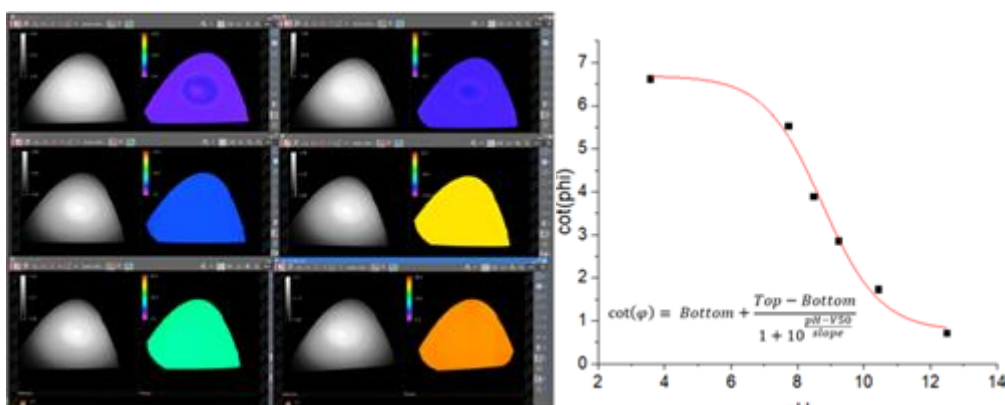


Abbildung 6: Bilder der der pH Kalibrationsmessung inklusive daraus resultierender Kalibrationskurve.

Die wahre Stärke des neuen Kamerasystems konnte durch die Kalibration eines ersten lebenszeitabhängigen Chlorid Indikators gezeigt werden. Dabei wurde eine polymerisierte PA-Schichten auf welche Verbindung 1 gekoppelt wurde verwendet. Wie zuvor erwähnt ist in diesem Setup kein Referenzfarbstoff mehr notwendig. Dies führt in der Regel zu sehr stabilen Signalen.

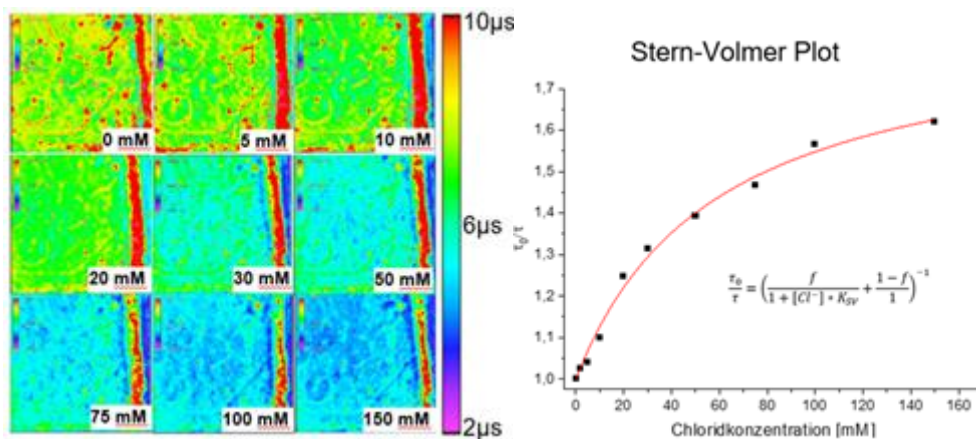


Abbildung 7: Abbildung einer Chlorid-Kalibration inklusive zugehöriger Kalibrationskurve.

Die Signal-inhomogenitäten (Abbildung 7) werden durch das äußerst weiche und mechanisch instabile Matrixmaterial verursacht. Die Unebenheiten in der Sensorschicht können dabei nicht ausreichend durch die interne Referenzierung ausgeglichen werden. In den folgenden Versuchen wird versucht, die verwendeten Polymere der Matrix zu optimieren, um eine bessere Stabilität zu erreichen.

AP5: Prozessverständnis u. Labortests

5a) Auswahl, Produktion und Test von Mörtelmischungen

Im Zuge eines internationalen Ringversuchs mit 18 teilnehmenden Forschungseinrichtungen wurden 5 Betonmischungen (CEM I – CEM III; Transportbeton; Ökobeton) mittels beschleunigter Karbonatisierung geprüft und in weiterer Folge mit der in diesem Projekt zu entwickelnden optischen pH Methodik korreliert. Die Mischungsrezepturen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Im Ringversuch verwendete Mischungsrezepturen.

Mischung	Zement		C-SCM	GGBFS	Kalkstein	Ultrafeiner Kalkstein	Sand	Wasser
	Typ	[kg/m ³]						
C 95	CEM I	495					1485	272
C 65	CEM II	488					1464	268
C 64	CEM III	490					1470	270

C52	Transport	413	103				1468	273
C20	Ökobeton	273		136	50	37	1487	273

Generell konnte eine gute Übereinstimmung der entsprechenden Karbonatisierungstiefe zwischen der neuen optischen und der herkömmlichen auf Phenolphthalein basierenden Messmethodik festgestellt werden (Abbildung 8). Aus den gemessenen quantitativen pH Bilder wurden pH Profile erstellt (Abbildung 9) und mit thermogravimetrischen (TG), mineralogischen (orts aufgelöste XRD) und mikrostrukturellen (Porosität) Analysen korreliert (Abbildung 10). Dadurch konnte eine direkte Korrelation zwischen der gemessenen pH Reduktion in den einzelnen Materialschichten und chemischen, mineralogischen und physikalischen Veränderungen in den Materialien hergestellt werden. Dabei konnte die gemessenen internen pH-Werte mit fortschreitendem Karbonatisierungsgrad mit der (Ca-)Lösung der einzelnen Hydratphasen (Portlandite und C-S-H Lösung; Kalzit Bildung) verknüpft werden. Gewonnene Ergebnisse verifizieren vorherrschende thermodynamischen Modellierungen bezüglich der Phasenveränderungen mit fortschreitender Karbonatisierung² und erweitern das Prozessverständnis zentraler Reaktionen.

² Shi Z., Lothenbach B., Geiker M., Kaufmann J., Leemann A., Ferreira S., Skibsted J., Experimental studies and thermodynamic modeling of the carbonation of Portland cement, metakaolin and limestone mortars, Cement and Concrete Research, 88 (2016) DOI: 10.1016/j.cemconres.2016.06.006

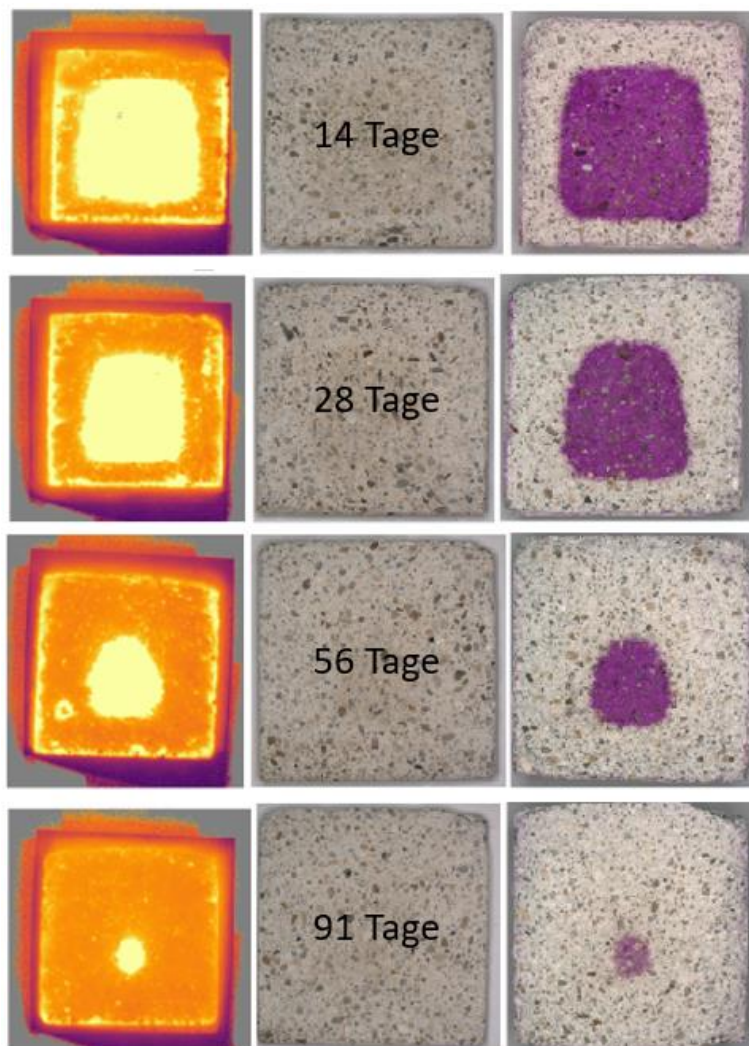


Abbildung 8: Vergleich der Karbonatisierungstiefe der Ökobetonprobe (C20) nach 14, 28, 56 und 91 Tagen, ermittelt mit a) optischer (linke Seite) und b) Phenolphthalein (rechte Seite).

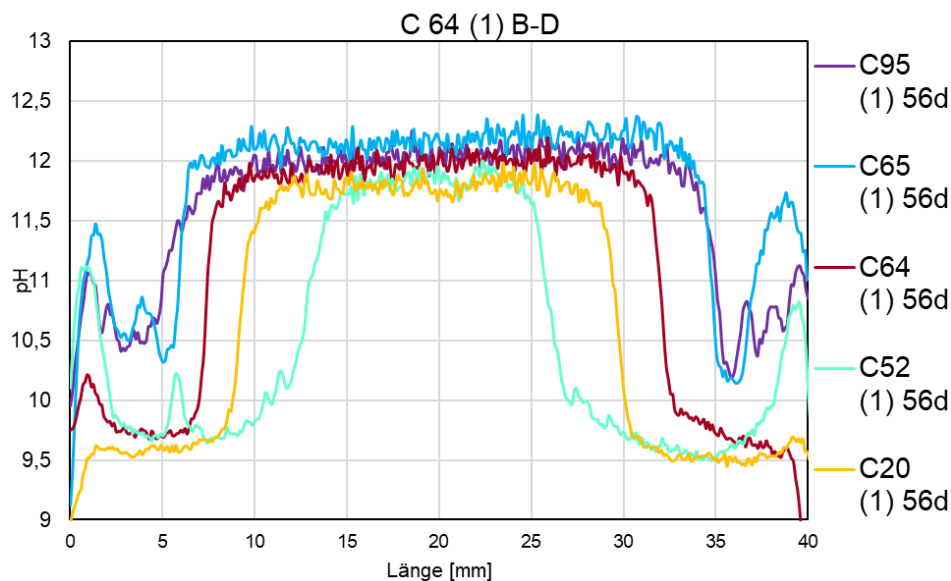


Abbildung 9: pH Profile durch die Mörtelmischungen nach 56 Tagen Auslagerung unter beschleunigter Karbonatisierung (2% CO₂, 65% relative Luftfeuchtigkeit)

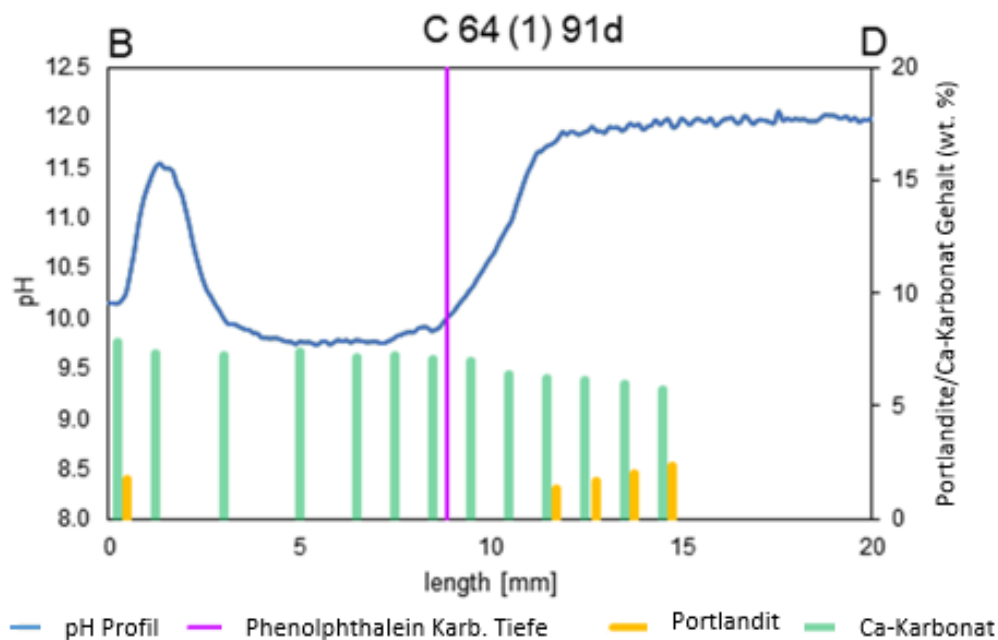


Abbildung 10: pH Profile durch die Mörtelmischung C64 nach 91 Tagen Auslagerung unter beschleunigter Karbonatisierung (2% CO₂, 65% relative Luftfeuchtigkeit), zusammen mit der Karbonatisierungsgrad-abhängigen mineralogischer Veränderung in den einzelnen Tiefenstufen. Zusätzlich eingezeichnet die mittels Phenolphthalein festgelegten Karbonatisierungstiefe.

Detaillierte Ergebnisse und Erkenntnisse werden derzeit in einem Manuskript zusammengefasst (siehe Punkt 4).

5b) Zementhydratation

Die neue optische pH Sensorik wurde in einem eigens entwickelten Messaufbau zum Monitoring der frühen-Hydratation vom Zementen verwendet (siehe der Versuchsaufbau in Abbildung 10). Die Entwicklung des internen pH's von Calcium Aluminat, Calcium Sulfoaluminat und Hochofen (CEM III) Zemente wurde bis pH-Werte von 13.3 kontinuierlich während den ersten 5 Tagen der Hydratation gemessen (Abbildung 11). Die pH-Werte wurden mit der Wärmeentwicklung und mit mineralischen Lösungs- und Bildungsprozessen korreliert. Die ersten Ergebnisse zeigen vielversprechende Möglichkeiten für die Anwendung der optischen Sensoren für Studien der Zementhydratation, beginnend vom flüssigen bis zum ausgehärteten Zustand. Die Ergebnisse dieser ersten Studien wurden in einer Publikation zusammengefasst welche sich derzeit im Fachjournal „*Cement and Concrete Research*“ zur Begutachtung befindet. Außerdem findet derzeit eine Masterarbeit zu diesem Thema statt.

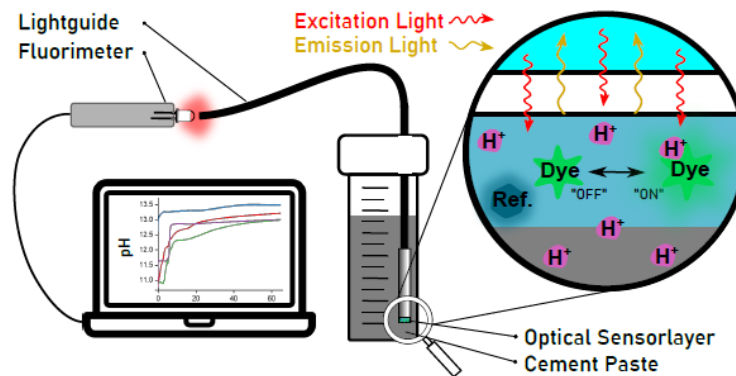


Abbildung 10: Schematischer Versuchsaufbau für die kontinuierliche pH Messung.

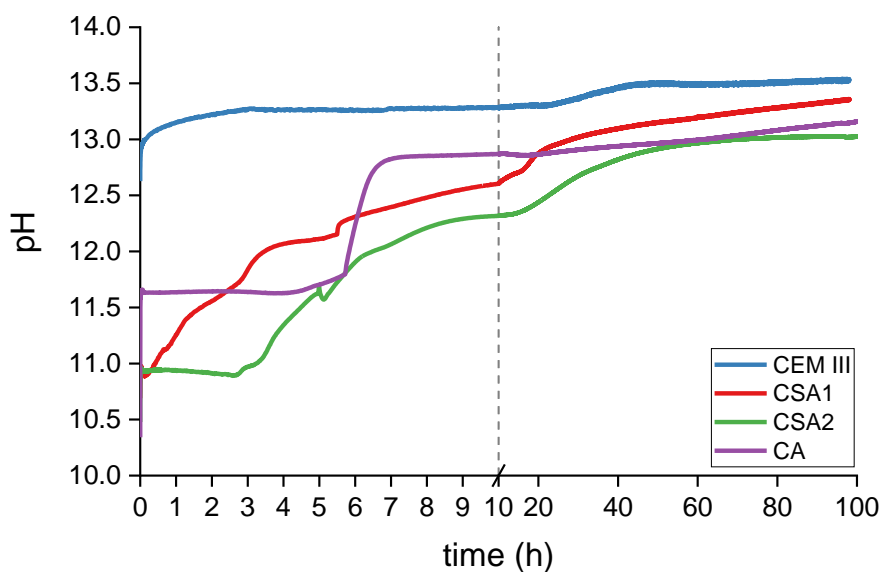


Abbildung 11: pH Entwicklung während der Hydratation von 4 Zemente: CEM III, Calcium Sulfoaluminat ohne Anhydrit (CSA1), Calcium Sulfoaluminat mit Anhydrit (CSA2) und Calcium Aluminat (CA).

AP6: Applikation u. Feldversuche

6a) Messungen Feldproben

Das Ziel dieser Messkampagne ist die Korrelation der innovativen optischen Sensorik mit standardmäßig durchgeführten Bestandsaufnahmen in Bezug auf Karbonatisierung [und Chlorid Angriff (sobald Cl Sensor Entwicklung abgeschlossen ist)]. Dafür wurden im Zuge mehrerer Probenahmen mehr als 60 Bohrkern aus einer österreichischen Tunnelkette an die TU Graz geliefert und mittels bildgebender optischer pH Messanalytik bezüglich ihrer Karbonatisierungstiefe charakterisiert. Weiterführende Auswertungen und Vergleich mit den durch die Prüflabore durchgeführten Zustandserhebungen befindet sich gerade in Ausarbeitung. Weitere Probenahmen sind im zweiten Forschungsjahr geplant.

6b) Beginnende Entwicklung optisches Feldsetup

Zur Überprüfung der grundlegenden Eignung der optischen Sensorik für Feldapplikation wurden in Probekörper mit bereits mittels Phenolphthalein bestimmten Karbonatisierungstiefen Bohrlöcher (mit 4 mm) in verschiedenen Tiefenstufen (2, 5, 7, 10, 15, 20 mm) eingebohrt (Abbildung 12A). Für die Messung wurde jeweils 30 μ L Reinstwasser in die Bohrlöcher mittels einer Pipette eingefüllt. Die Messung wurde mit einem pH Breibandsensor (Sensitivitätsbereich 6,4 – 11,4) mit 2 mm Durchmesser durchgeführt (Abbildung 12B).

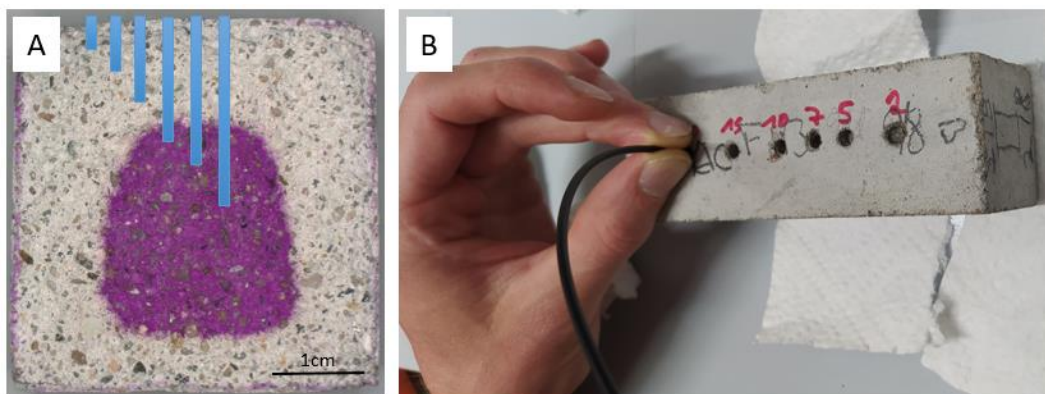


Abbildung 12: Labortestsetup zur Messung von pH in Bohrlöchern in verschiedenen Tiefenstufen. (A) schematische Darstellung. (B) Tatsächliche Messung.

Zur zusätzlichen Überprüfung wurde in verschiedenen Tiefenstufen (3-5; 6-8; 9-11, 13-15; 17-19 mm) Bohrmehl entnommen, mit 1 mL Reinstwasser aufgeschlämmt und darin der pH bestimmt. Die gemessenen Werte wurden in weiterer Folge mit den in den Bohrlöchern gemessenen korreliert.

Die Karbonatisierungstiefe konnte eindeutig mittels optischer Bohrlochsonden durch einen starkem pH Anstieg zwischen 13 und 15 mm Tiefe von ca. 9.8 auf

über 11,4 (Ende Messbereich Breitbandsensor) bestimmt werden (Abbildung 13). Die verwendeten sehr geringen Bohrlochdurchmesser (4mm) und geringen Wassermengen (30 µL) erlaubten stabile Messungen. Zusätzlich konnte eine sehr gute Korrelation zwischen Bohrloch- und Bohrmehlmessungen festgestellt werden (Abbildung 13).

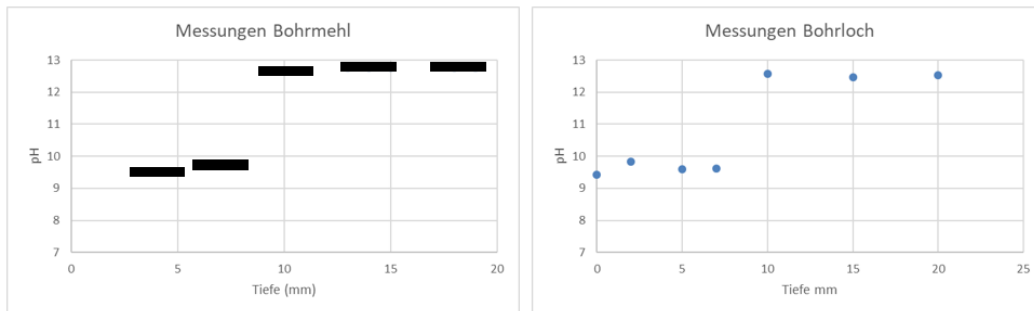


Abbildung 13: Mittels Bohrmehlentnahme (linke Seite) und Bohrlochmessungen (rechte Seite) gemessene pH-Werte in verschiedenen Tiefenstufen.

Gab es abseits der bereits dargestellten Termsituation Veränderungen im Arbeitsplan oder in der Methodik? Hinweis: Änderungen von Zielen erfordern eine Genehmigung durch die FFG.

JA

NEIN

Bei JA: Beschreiben und begründen Sie die aufgetretenen Veränderungen. Welche Auswirkungen hatten oder haben diese? Wie musste die Planung adaptiert werden?

Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.

3 PROJEKTTEAM UND KOOPERATION

Gab es wesentliche Veränderungen im Projektteam (interne Schlüsselmitarbeiter*innen und externe Partner oder Drittleister)? Gehen Sie auf Änderungen in der Arbeitsaufteilung ein.

Generelle Auswirkungen: Gibt es Auswirkungen auf die Kosten- bzw. Finanzierungsstruktur und die Zielsetzung?

Bei wissenschaftlichen Kooperationen: Gab es Änderungen im Umfang oder in der Arbeitsaufteilung? Gab es Probleme in der Zusammenarbeit?

JA

NEIN

Bei JA: Beschreiben und begründen Sie hier die Änderungen und die eingeleiteten Maßnahmen.

Das Projektteam entspricht dem des Antrags mit den Wissenschaftlern der beteiligten Institute. Dr. Andreas Steininger wurde als Post-Doc und Leonhard Sterz als Doktorand am Institut für Analytische Chemie in das Projektteam aufgenommen und diese unterstützen AP3&4. Weiters haben zwei Masterstudenten am Projekt mitgearbeitet und die AP5&6 unterstützt.

4 WIRTSCHAFTLICHE UND WISSENSCHAFTLICHE VERWERETUNG

Beschreiben Sie die bisherigen Verwertungs- und Weiterverbreitungsaktivitäten.
Ist eine Verwertung möglich?

Listen Sie Publikationen, Dissertationen, Diplomarbeiten sowie etwaige Patentmeldungen, die aus dem Projekt entstanden sind, auf.

Sind weiterführende F&E-Aktivitäten nötig und geplant?

Wie werden die im Projekt geschaffenen Prototypen weiterverwendet?

Verwertungs- und Weiterverbreitungsstrategien

Die Ergebnisse aus den Sensormaterialien und Messmethodik Arbeitspaketen (AP3 und AP4) konnten im Rahmen eines internationalen Ringversuchs zur Untersuchung der Karbonatisierung von Betonproben angewendet werden und mit herkömmlichen Methoden verglichen werden (AP5). Eine Publikation dieser Studie ist in Ausarbeitung. Die Ergebnisse sind auf großes Interesse der beteiligten internationalen Teilnehmer gestoßen und die Forschungspartner haben einige Anfragen bekommen, Proben mit dieser neuen Technik zu untersuchen.

Die Ergebnisse der Entwicklung zu Messung in Bohrlöchern und Bohrmehl (siehe 2.1.2 AP6b) wurden mit den beteiligten Projektpartnern der Industrie intensiv diskutiert und wurden als sehr vielsprechend bewertet.

Die Projektpartner Palfinger Structural Inspection GmbH, PyroScience AT GmbH, ADP Rinner und ADP Ringer werden die Ergebnisse aus AP3 (Sensormaterialien) im FFG-Projekt „Sensors4StrucInspection - Sensor Development for Built Infrastructure Inspection“ verwerten und weiterentwickeln.

Publikationen

Galan I., Mueller B., Briendl, L., Mittermayr M., Mayr T., Dietzel M., Grengg C., (2021) Continuous optical in-situ pH monitoring during early hydration of cementitious materials, Cement and Concrete Research – *accepted manuscript*

Briendl L., Grengg C., Mueller B., Koraimann G., Mittermayr F., Steiner P., Galan I., (2021) Cement paste pH monitoring during reaction with setting accelerator – in *Ausarbeitung*

Sakoparnig M. Grengg C., Mueller B., Juhart J., Mittermayr F., Galan I., (2021) Accelerated carbonation tests of clinker reduced mortar samples – in *Ausarbeitung*

Studentische Abschlussarbeiten

Steiner P., Influence of setting accelerator and supplementary cementitious materials on the pH evolution during early hydration of cementitious materials

5 KOSTEN UND FINANZIERUNG

Beachten Sie die für Ihr Projekt gültigen Ausschreibungsunterlagen und den [FFG-Kostenleitfaden](#). Tragen Sie in die folgende Tabelle die angefallenen Kosten ein. Die Abrechnung erfolgt direkt im eCall bzw. bei bis September 2015 eingereichten Projekten via Excel. Im eCall wird Ihnen automatisch die für Sie richtige Variante präsentiert.

Hinweis: Befüllen Sie die leeren Felder der Tabelle und aktualisieren Sie danach die Berechnungen durch Markieren der Tabelle und Drücken der Taste „F9“.

Des Weiteren sind von den jeweiligen wissenschaftlichen Partnern, welche In Kind-Leistungen erbracht haben, die angefallenen Kosten im [detaillierten Abrechnungsformular](#) auszufüllen und im eCall anzuhängen.

[Partner eintragen]	Genehmigt laut Vertrag	Ist-Kosten	Ist/genehmigt
Personalkosten	13527	13649	101 %
F&E-Infrastrukturnutzung	0	0	0 %
Sach- und Materialkosten	0	0	0 %
Drittkosten	293200	293540	100 %
Reisekosten	0	0	0 %
GESAMT	€ 306.727	€ 307.189	100,1 %

Abweichungen vom Kostenplan sind an dieser Stelle zu beschreiben und zu begründen.

Die entstandenen Mehrkosten werden durch die ÖBV bzw. deren Mitgliedsunternehmen übernommen.

6 PROJEKTSPEZIFISCHE SONDERBEDINGUNGEN UND AUFLAGEN

Gehen Sie auf projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen (laut §6 des Förderungsvertrags) in der relevanten Tabellenzeile ein, sofern diese im Förderungs- oder Werkvertrag vereinbart wurden.

Auswahl	Beschreibung	Detailausführung
<input type="checkbox"/>	Keine Auflagen	Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.
<input checked="" type="checkbox"/>	Auflagen wurden berücksichtigt	Die Projektergebnisse wurden veröffentlicht und sind auf der Web-Site der ÖBV (www.bautechnik.pro) frei zum Download erhältlich.
<input type="checkbox"/>	Sonstiges (zum Beispiel Abweichungen von den Auflagen)	Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.

7 MELDUNGSPFLICHTIGE EREIGNISSE

Gibt es besondere Ereignisse, die einen Einfluss auf das geförderte Projekt haben oder der FFG mitzuteilen sind (siehe auch FFG-Richtlinien; Kapitel 8, Punkt 8.1.3)?

Zum Beispiel:

- Änderungen der rechtlichen und wirtschaftlichen Einflussmöglichkeiten beim Förderungsnehmer oder der Förderungsnehmerin
- Insolvenzverfahren
- Ereignisse, die die Durchführung der geförderten Leistung verzögern oder unmöglich machen
- Weitere Förderungen für dieses Projekt

JA

NEIN

Bei JA: Beschreiben Sie hier die Ereignisse und deren Auswirkungen.

Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.