

Analyse des Tausalzeintrages in Fahrbahndeckenbetone im Kontext der Alkali-Kieselsäure-Reaktion

Frank WEISE¹, Steven Millar¹, Tobias GÜNTHER¹

¹ BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Kontakt E-Mail: frank.weise@bam.de

Kurzfassung

In den letzten Jahren sind im deutschen Bundesautobahnnetz (BAB-Netz) vermehrt AKR-Schäden an Betonfahrbahndecken aufgetreten, die zum Teil zu einer Halbierung ihrer geplanten Nutzungsdauer von 30 Jahren führte. Ursächlich hierfür ist die Verwendung alkaliempfindlicher Gesteinskörnung, die bei gleichzeitiger Anwesenheit von Wasser infolge der Exposition der Fahrbahndecke und dem alkalischen Milieu durch den Einsatz alkalireicher Portlandzemente bei der Betonherstellung zu einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) führt. Zusätzlich wird der AKR-Schädigungsprozess in Betonfahrbahndecken durch den externen Tausalzeintrag (primär NaCl) im Winter begünstigt. Vor diesem Hintergrund kommt der Ermittlung des Tausalzeintrags in den Fahrbahndeckenbeton eine große Bedeutung zu.

Die Analyse des Tausalzeintrags erfolgte bisher ausschließlich nasschemisch an gemahlten Bohrkernsegmenten. Nachteilig ist hierbei die fehlende differenzierte Betrachtung des Natriumgehaltes im Zementstein und in der Gesteinskörnung. Der alternative Einsatz von LIBS (Laser-induced breakdown spectroscopy) eröffnet in diesem Kontext neue Möglichkeiten. So wird in diesem Beitrag an Hand von Bohrkernen aus einem AKR-geschädigten BAB-Abschnitt exemplarisch die Vorgehensweise bei der LIBS-Analyse zur Ermittlung der Na- und interagierenden Cl-Verteilung an vertikalen Schnittflächen des Bohrkerns aufgezeigt. Da der Tausalzeintrag primär über den Zementstein erfolgt, wurde der verfälschende Na-Grundgehalt der Gesteinskörnung mittels Zementsteinkriteriums (Nutzung unterschiedlichen Ca-Gehalts in Zementstein und Gesteinskörnung) eliminiert. Vergleichend durchgeführte Cl-Mappings mit Mikroröntgenfluoreszenzanalyse (MRFA) belegen die Güte der durchgeführten LIBS-Messungen.

Aber auch bei der Verifizierung der Übertragbarkeit der Ergebnisse der zum Ausschluss reaktiver Gesteinskörnung bei Neubau und Erneuerung im BAB-Netz eingesetzten Performanceprüfungen mit externem Alkalieintrag auf Praxisverhältnisse hat sich das LIBS-Verfahren bewährt. So wurde festgestellt, dass die mit NaCl-Lösung beaufschlagten Laborprüfkörper aus einem repräsentativen Fahrbahndeckenbeton bei der Klimawechsellagerung (KWL) über ihre gesamte Höhe von 10 cm einen Eintrag von Na und Cl erfahren. Weiterhin konnte im Gegensatz zu bisherigen Annahmen erstmals mit LIBS und Nasschemie gezeigt werden, dass die Frost-Tauwechsel-Phase bei der KWL zu keinem erhöhten Tausalzeintrag führt.



15.02.2018

ANALYSE DES TAUSALZEINTRAGES IN FAHRBAHNDECKENBETONE IM KONTEXT DER ALKALI-KIESELSÄURE-REAKTION

Frank Weise, Steven Millar, Tobias Günther

Fachtagung Bauwerksdiagnose
Berlin, 15.-16. Februar 2018

Motivation

- Vermehrt auftretende AKR-Schäden an Betonfahrbahndecken
⇒ Reduzierung der Lebensdauer von 30 auf 15-10 Jahre



SK I: Dunkelfärbung



SK II: + Rissbildung



SK III: + Ausbrüche

- Bundesweite Befahrung des BAB-Streckennetzes 2010/2011 (BAST)

Fazit: AKR-Verdacht bei zahlreichen BAB-Abschnitten

Motivation

- Vermehrt auftretende AKR-Schäden an Betonfahrbahndecken
⇒ Reduzierung der Lebensdauer von 30 auf 15-10 Jahre

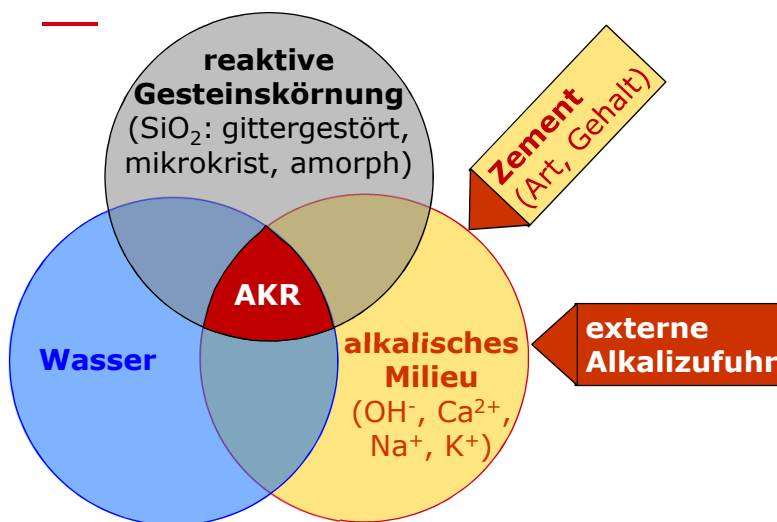


- Bundesweite Befahrung des BAB-Streckennetzes 2010/2011 (BAST)

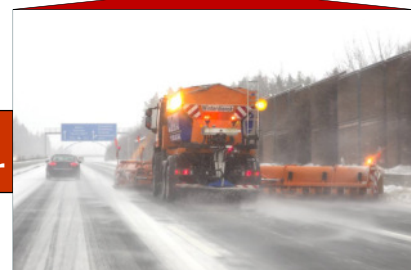
Fazit: AKR-Verdacht bei zahlreichen BAB-Abschnitten

Motivation

- Voraussetzungen für eine AKR -



Eindringtiefe der Tausalze (NaCl) in Betonfahrbahndecke?

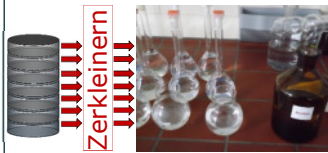


www.straight.com/news/553986/road-salt-remains-rivers-all-year

Ermittlung des Tausalzeintrags in Betondecke - Analysemethoden -

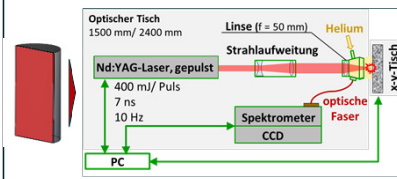
Nasschemie

HNO₃-Aufschluss
aufgemahlener
Bohrkernsegmente
mit anschließender
- potent. Titrat. (Cl)
- ICP-OES (Na)



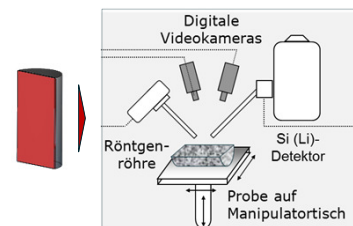
LIBS

Analyse elementspez.
Strahlung bei Plasma-
zerfall nach Anregung
der BK-Schnittfl. mit
fokuss. Laserstrahl



MRFA

Analyse elementspez.
Röntgenfluoreszenzstr.
nach Anregung der BK-
Schnittfl. mit fokuss.
Röntgenstrahl



Ermittlung des Tausalzeintrags in Betondecke - Bewertung der Analysemethoden -

Kriterium	Nasschemie	LIBS	MRFA
Elemente	Na + Cl		Cl
Quantifizierung	ja	nein (keine Kalibrierung an gleicher Betonrezeptur)	
Messbereich	Volumen	Fläche	
Ortsauflösung	V _{min.} = 8 cm ³	100 – 500 µm	30 – 200 µm bei Linienscan
Separierung GK und Feinmörtel	nein	ja	
Zeitaufwand	mittel	gering	

Ermittlung des Tausalzeintrags in Betondecke - Restriktionen und Erfahrungen -



- Unkenntnis der Na- und Cl-Verteilung unmittelbar nach Einbau der Betondecke (Referenz)

↳ Abschätzung der Mindesteindringtiefe über Gradientenbewertung über die Tiefe

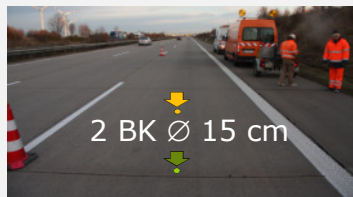
Analyse des Tausalzeintrags bei ca. 70 BAB-Abschnitten mit **LIBS** (MRFA (Cl)) begleitend in 3 BAST-Vorhaben

Messbeispiel (BAB A 9-3)

Messbeispiel BAB A9-3 - Allgemeine Angaben -



Probe- nahme:



- Schadenskategorie: I
- Bauweise: einschichtig, einlagig
- Aufbau:



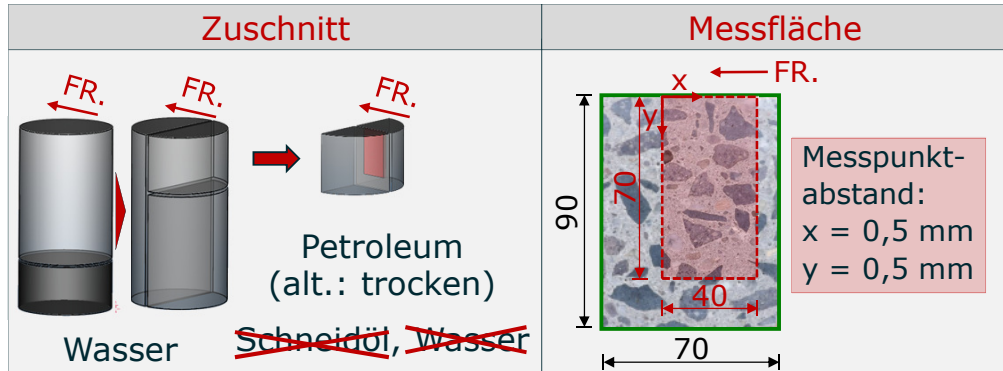
28 cm Betondecke

10 cm Asphalttragschicht

- Alter: 19 Jahre

Messbeispiel BAB A9-3 - Probenpräparation und Messapparatur -

Präpa- ration:



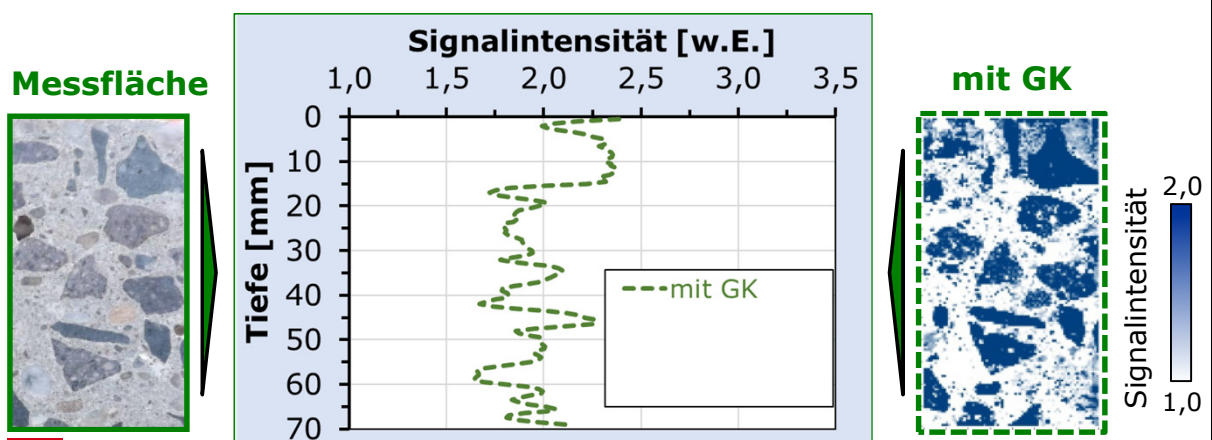
LIBS:

Messapparatur und -parameter

Nd: YAG-Puls laser ● Pulsenergie E_p : ca. 300 mJ
(Spotlight 600): ● Repititionsrate: 10 Hz

Messbeispiel BAB A9-3 - LIBS-Ergebnisse und Auswertung -

Ermittlung Na-Tiefenprofils (Plattenrand)

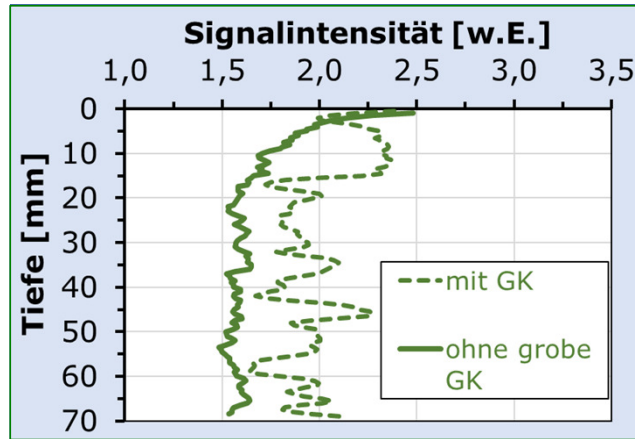
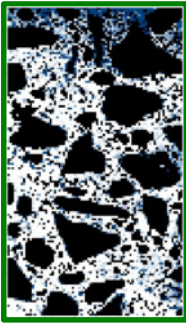


Messbeispiel BAB A9-3

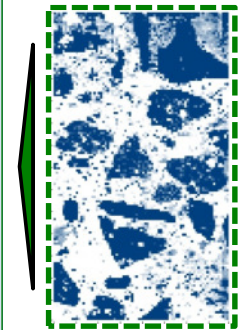
- LIBS-Ergebnisse und Auswertung -

Ermittlung Na-Tiefenprofils (Plattenrand)

ohne grobe GK



mit GK

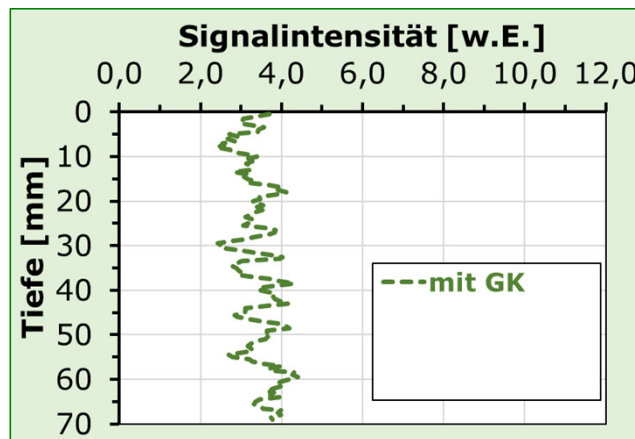


Messbeispiel BAB A9-3

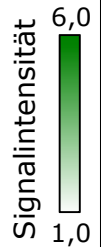
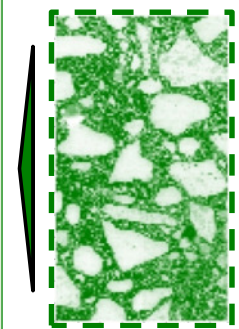
- LIBS-Ergebnisse und Auswertung -

GK-Ausschluss über Ca-Verteilung (Plattenrand)

Messfläche



mit GK



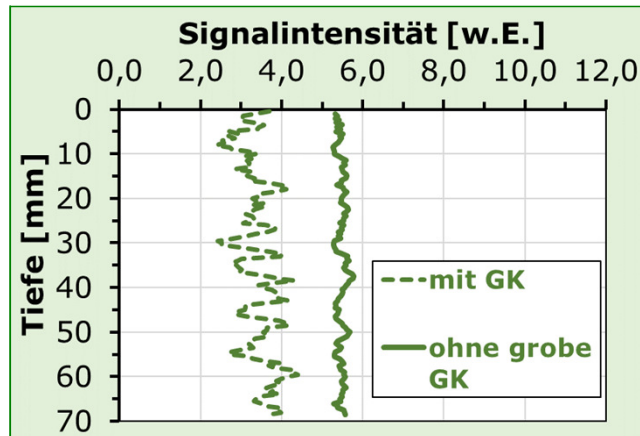
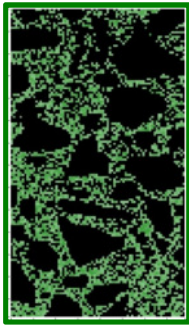
Messbeispiel BAB A9-3

- LIBS-Ergebnisse und Auswertung -

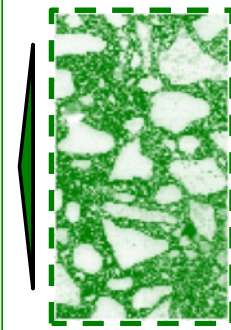


GK-Ausschluss über Ca-Verteilung (Plattenrand)

ohne grobe GK



mit GK



15.02.2018

Analyse des Tausalzeintrages in Fahrbahndeckenbetone im Kontext der Alkali-Kieselsäure-Reaktion

13

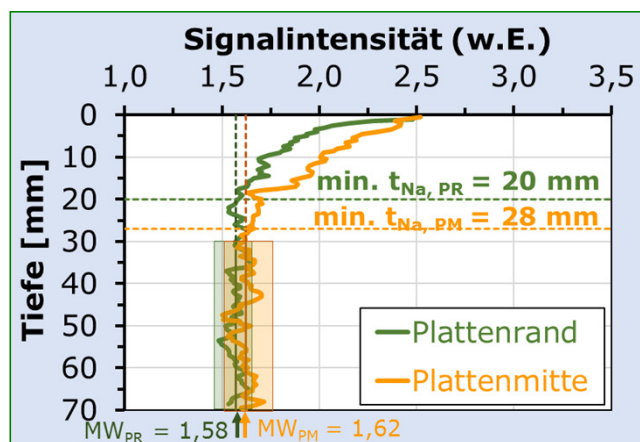
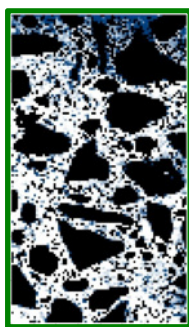
Messbeispiel BAB A9-3

- LIBS-Ergebnisse und Auswertung -

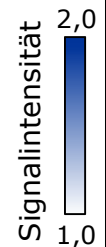
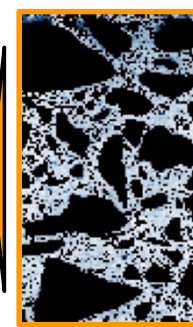


Ermittlung min. Na-Eindringtiefe (ohne grobe GK)

Plattenrand



Plattenmitte



15.02.2018

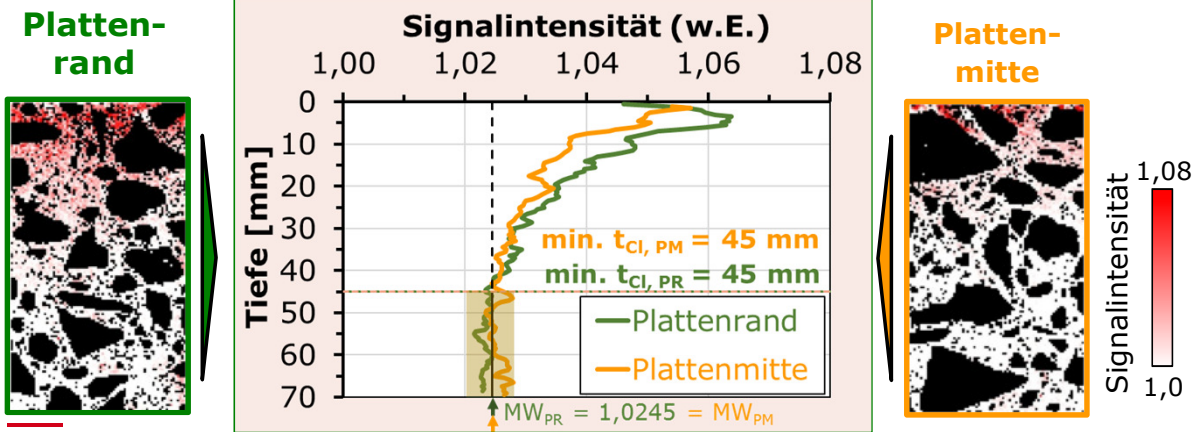
Analyse des Tausalzeintrages in Fahrbahndeckenbetone im Kontext der Alkali-Kieselsäure-Reaktion

14

Messbeispiel BAB A9-3

- LIBS-Ergebnisse und Auswertung -

Ermittlung min. Cl-Eindringtiefe (ohne grobe GK)



15.02.2018

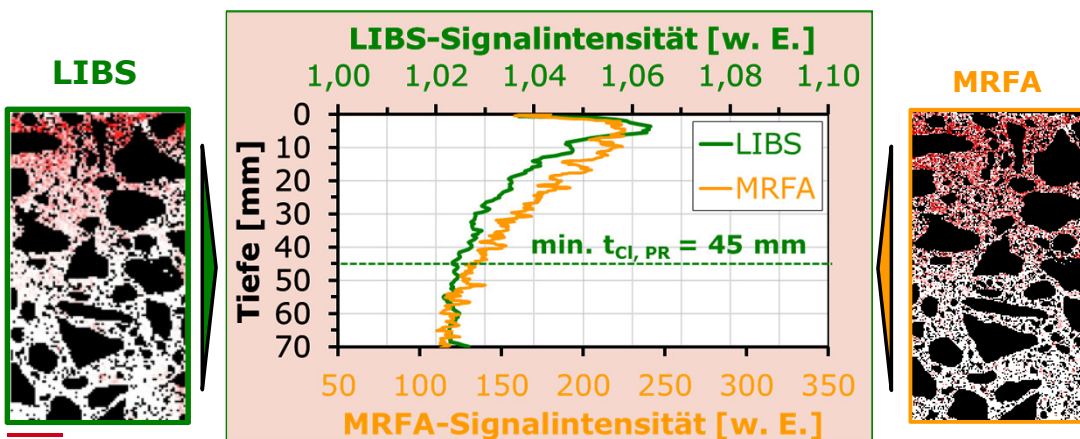
Analyse des Tausalzeintrages in Fahrbahndeckenbetone im Kontext der Alkali-Kieselsäure-Reaktion

15

Messbeispiel BAB A9-3

- Vergleich von LIBS/MRFA -

Cl-Profile am Plattenrand (ohne grobe GK)



15.02.2018

Analyse des Tausalzeintrages in Fahrbahndeckenbetone im Kontext der Alkali-Kieselsäure-Reaktion

16

Messbeispiel BAB A9-3 - Vergleich von LIBS/MRFA -

Zwischenfazit

- Nachweis der Eignung von LIBS für qualitative Abschätzung der Na- und Cl-Eindringtiefe in Betonfahrbahndecke
- Mindesteindringtiefe bei Messbeispiel von BAB A9-3
PR/PM: Na: ca. 20/28 mm; Cl: ca. 45/45 mm

Frage

Höhe des Tausalzeintrags in Beton bei AKR-Performanceprüfung?
(Übertragbarkeit der Laborprüfungen auf die Praxis)

Tausalzeintrag bei AKR-Performanceprüfung - Basis -

Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 04/2013

- ➔ Ausschluss reaktiver GK bei Neubau und Erneuerung von BAB's durch Eignungsnachweise

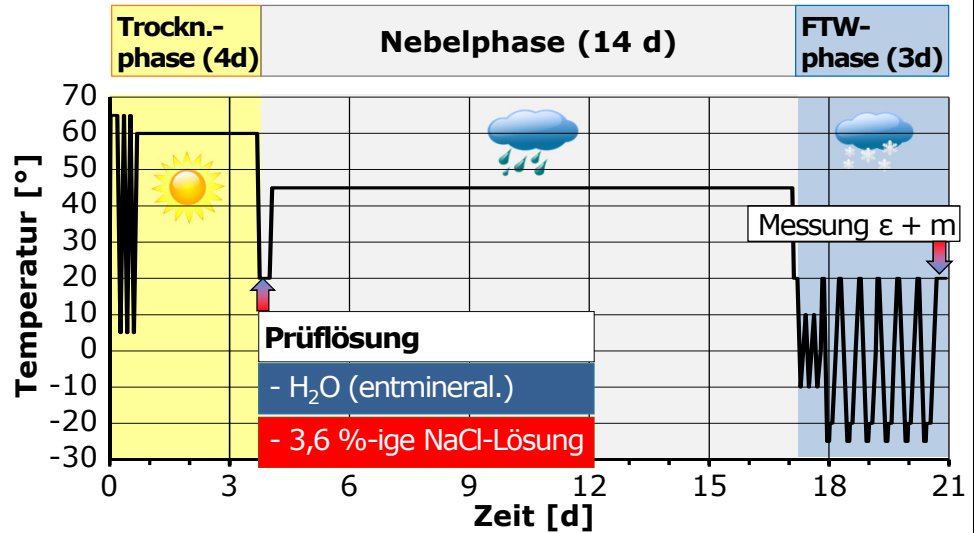
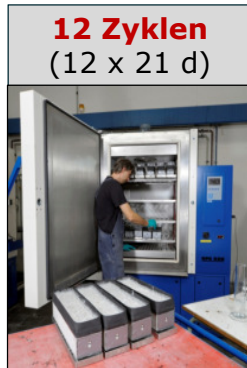


Klimawechsellagerung



60°C Betonversuch mit
externer Alkalizufuhr

Tausalzeintrag bei AKR-Performanceprüfung - Prüfprozedere bei Klimawechsellagerung -



15.02.2018

Analyse des Tausalzeintrages in Fahrbahndeckenbetone im Kontext der Alkali-Kieselsäure-Reaktion

19

Tausalzeintrag bei AKR-Performanceprüfung - PK-Herstellung -



Charakteristika					OB (D > 8) / UB
Art der Gesteinskörnung	0/2	[mm]	Okrilla	[Vol.-%]	30,0
	2/5		Grauwacke		10,5
	5/8				4,5
	8/16				25,0
	16/22				30,0
WS-Prüfzement CEM I 42,5 N (sd)	Na ₂ O _{äqu.} = 0,76 M.-%		[kg/m ³]	360	
w/z-Wert			-	0,45	
Zusatzmittel: Sika LPS A-94			[M.-%]	0,2 (bez. auf z)	

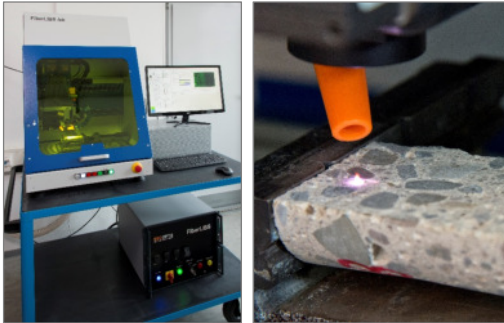
12.10.2015

Bewertung der Innenhydrophobierung von Betonfahrbahndecken als AKR-Vermeidungsstrategie

20

Tausalzeintrag bei AKR-Performanceprüfung - LIBS-Messapparatur und Messparameter -

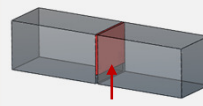
FiberLIBSlab-System



NdCr YAG-Mikrochip-Laser:

- Pulsenergie E_p : ca. 3 mJ
- Pulsfrequenz: 100 Hz

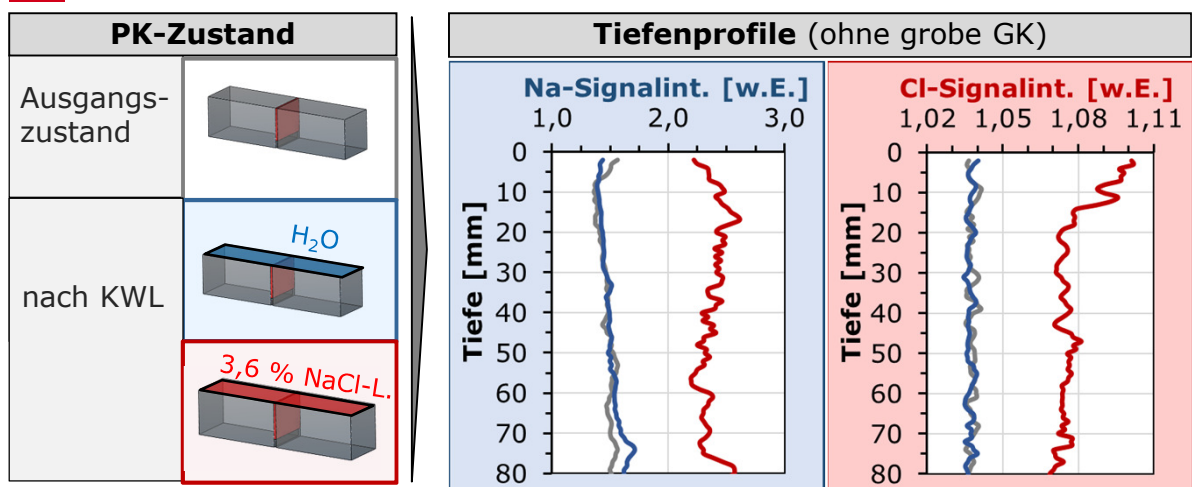
Messfläche:



10 cm x 8 cm

Messpunkt-
abstand:
x = 0,5 mm
Y = 0,5 mm

Tausalzeintrag bei AKR-Performanceprüfung - LIBS-Ergebnisse -



Tausalzeintrag bei AKR-Performanceprüfung - LIBS-Ergebnisse -

Zwischenfazit

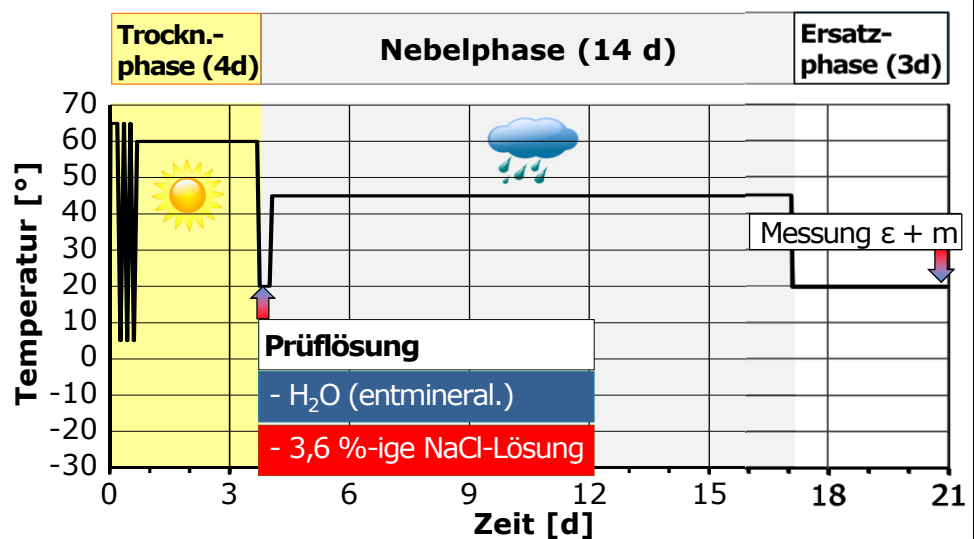
- Nachweis eines vollständigen Tausalzeintrags über die Höhe des PK`s nach KWL (3,6 %-ige NaCl-Lösung)
- ↪ Einschränkung der Übertragbarkeit von Laborprüfung auf Praxis für gewähltes Messbeispiel

Frage

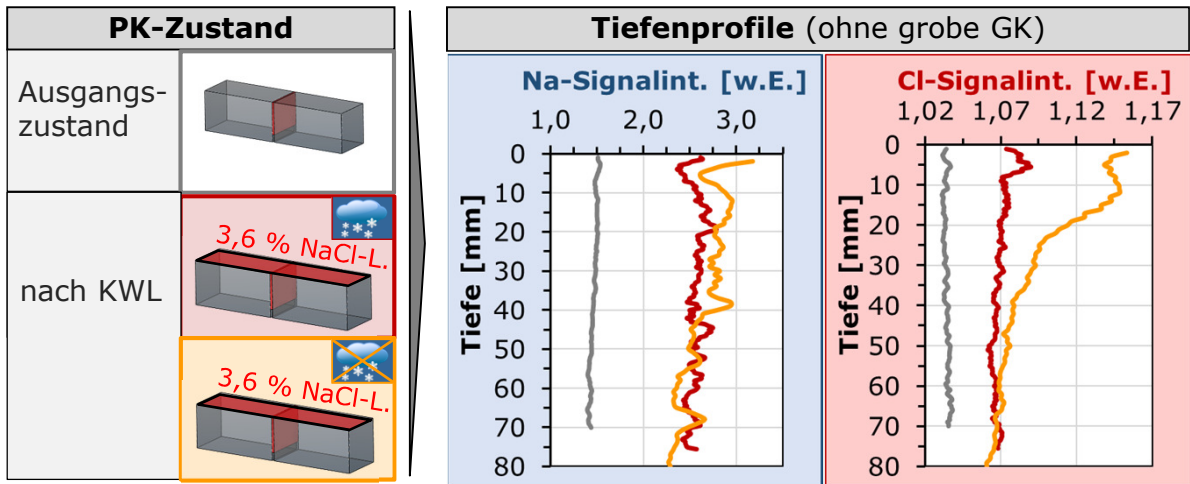
Rolle der FTSW-Phase bei Tausalzeintrag?
(Annahme: Erhöhung des Tausalzeintrags durch Mikroeislinsepumpe)

Tausalzeintrag bei AKR-Performanceprüfung - Prüfprozedere bei Klimawechsellagerung -

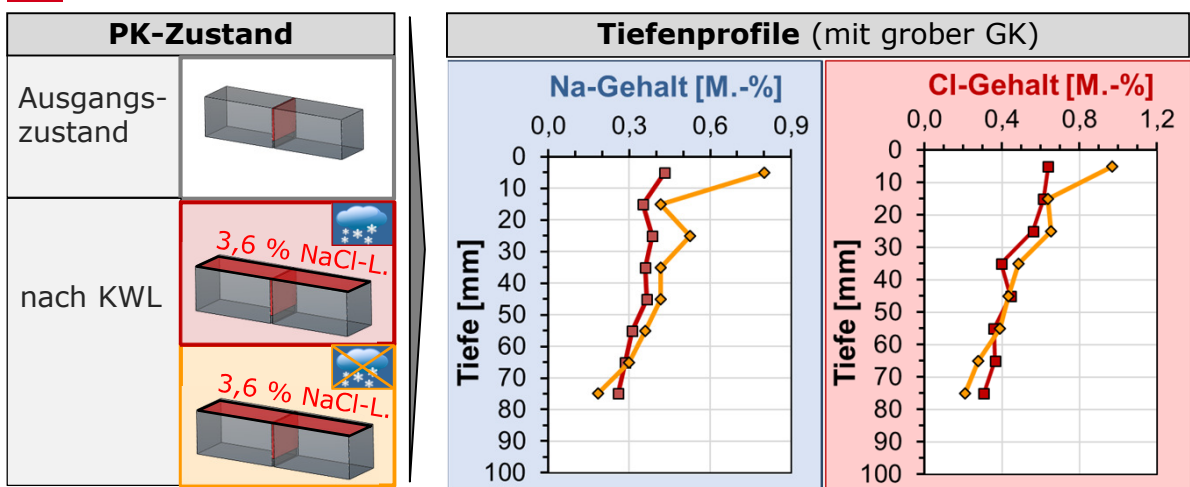
12 Zyklen
(12 x 21 d)



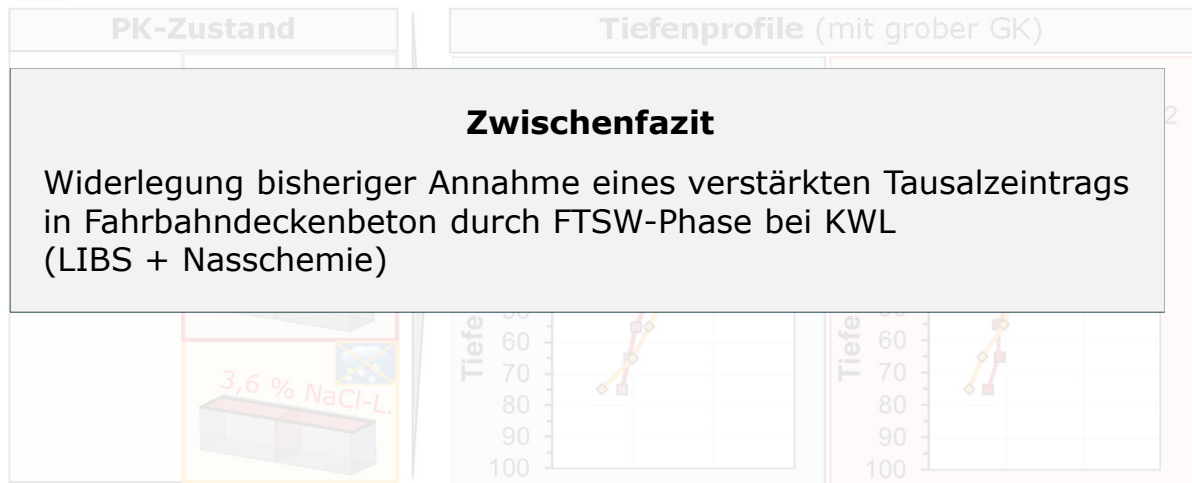
Tausalzeintrag bei AKR-Performanceprüfung - Einfluss der FTSW-Phase bei KWL (LIBS) -



Tausalzeintrag bei AKR-Performanceprüfung - Einfluss der FTSW-Phase bei KWL (Nasschemie) -



Tausalzeintrag bei AKR-Performanceprüfung - Einfluss der FTSW-Phase bei KWL (Nasschemie) -



15.02.2018

Analyse des Tausalzeintrags in Fahrbahndeckenbetone im Kontext der Alkali-Kieselsäure-Reaktion

27

Analyse des Tausalzeintrags mit LIBS

- Globales Fazit und Ausblick -



- Nachweis der Eignung von LIBS zur qualitativen Ermittlung der Mindesteindringtiefe von Tausalz in Fahrbahndeckenbetone
 - ↳ Zuschnitt der Messfläche mit Petroleum oder trocken
 - ↳ Notwendigkeit der Identifikation und Eliminierung der GK
- Eröffnung neuer Möglichkeiten der Aufklärung der Transport- und Schädigungsmechanismen in Fahrbahndeckenbetonen
- Erfordernis weitergehender Grundlagenuntersuchungen
 - ↳ Optimierung der Ortsauflösung für Ermittlung Na- und Cl-Profile
 - ↳ Quantifizierung des Tausalzeintrags in Laborbetone (Na)

15.02.2018

Analyse des Tausalzeintrags in Fahrbahndeckenbetone im Kontext der Alkali-Kieselsäure-Reaktion

28

**Vielen
Dank!**

