Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Forschungsnetzwerk Mittelstand

Industrielle Gemeinschaftsforschung

Forschungsvereinigung:	VDZ Technology gGmbH (Zementwerke)
Forschungseinrichtung:	VDZ Technology gGmbH Forschungsinstitut der Zementindustrie
IGF-Vorhaben-Nr.:	21252 N
Bewilligungszeitraum	01.10.2020 – 31.03.2024
Veröffentlicht VDZ-Webseite	(https://vdz.info/21252)

Forschungsthema:

Einfluss einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion auf den Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand von Beton

Im IGF-Vorhaben 21252 N untersuchte der VDZ den Einfluss einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) auf den Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand von Beton. Durch die Tätigkeit des VDZ im *RILEM Technical Committee 258-AAA* zur AKR und durch Berichte nationaler Straßenbauverwaltungen hatten sich Hinweise verdichtet, dass es eine ernstzunehmende Wechselwirkung der Schädigungsmechanismen einer AKR und des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes von Beton gibt.

1 Ausgangsstoffe und Methoden

Betone mit unterschiedlich alkali-reaktiven Gesteinskörnungen sowie mit und ohne Luftporenbildner (LP) wurden hergestellt. Durch die Lagerung bei 38 °C über Wasser oder bei 60 °C mit einer Alkalizufuhr wurden unterschiedliche AKR-induzierte Schädigungsgrade (Dehnungen) eingestellt. Anschließend wurde der Zustand der Betone während einer der folgenden Einwirkungen mit verschiedenen Methoden (Dehnung, Abwitterung und relativer dynamischer E-Modul) erfasst:

- 20 °C und 100 % relative Luftfeuchte (Referenz)
- Frost (100 Frost-Tau-Wechsel mit entionisiertem Wasser)
- Frost-Tausalz (100 Frost-Tau-Wechsel mit 3%iger NaCl-Lösung)

Der Schädigungsgrad der Betone wurde mittels *Stiffness Damage Test* (SDT) [1; 2; 3; 4] untersucht. Zusätzlich wurden der statische E-Modul, die Druckfestigkeit und der Porensättigungsgrad mittels Wasseraufnahme bei 15 MPa bestimmt.

An Bohrkerne aus verschiedenen geschädigten Autobahnen wurde ebenfalls der Schädigungsgrad und die Druckfestigkeit ermittelt.

2 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in **Bild 1** dargestellt und werden wie folgt zusammengefasst.

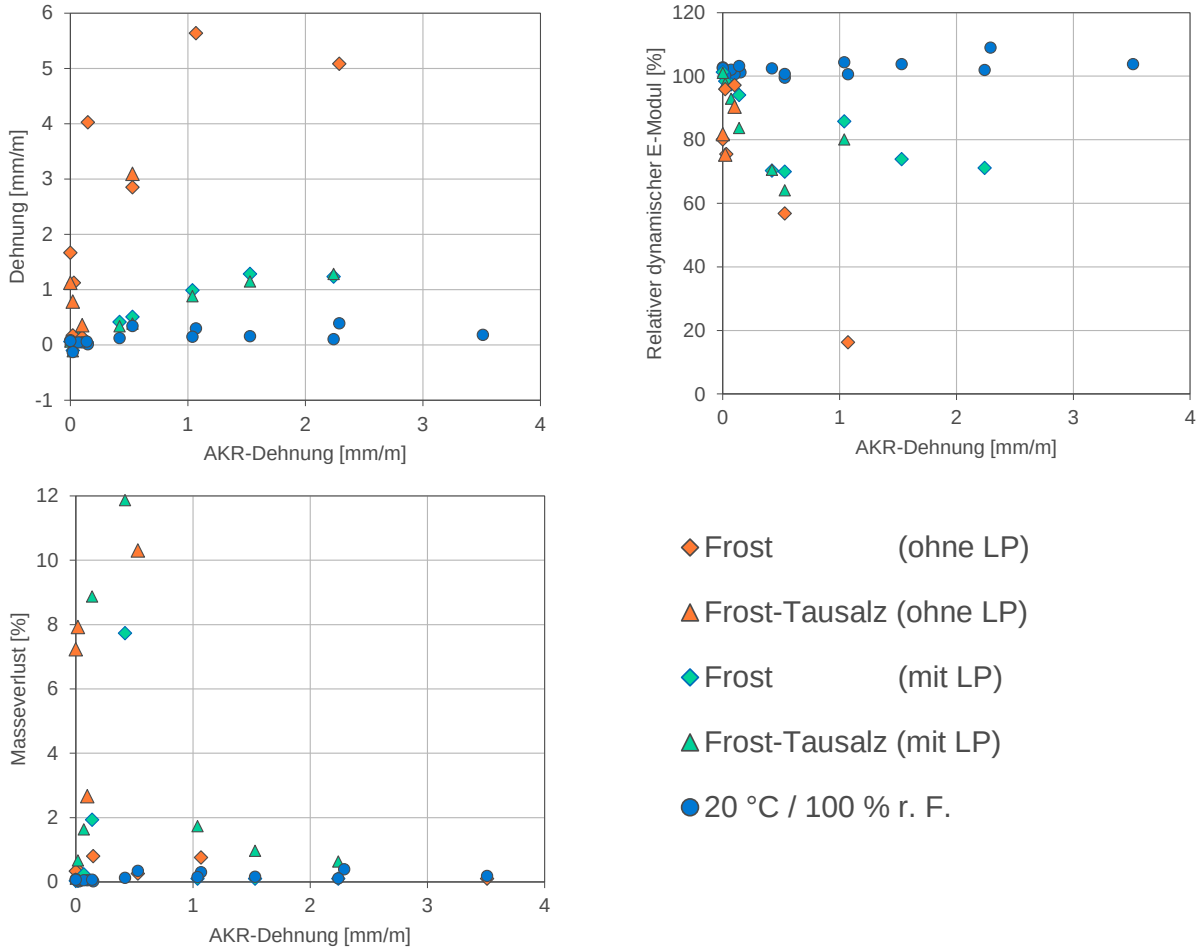

Bild 1 Dehnung, relativer dynamischer E-Modul und Masseverlust nach 100 Frost-Tau-Wechseln mit entionisiertem Wasser (Frost) und 3%iger NaCl-Lösung (Frost-Tausalz) sowie nach Lagerung bei 20 °C und 100 % r. F. in Abhängigkeit von der AKR-Dehnung verschiedener Betone

Frost-Widerstand

- Die ungeschädigten LP-Betone mit Portlandzement hatten einen sehr hohen Frost-Widerstand (Masseverlust ≤ 5 M.-% nach 100 Frost-Tau-Wechseln). Die Länge (Dehnung) der Probekörper und der relative dynamische E-Modul änderten sich nicht wesentlich.
- Künstlich eingebrachte Luftporen reduzierten die Frost-induzierte Dehnung und den Abfall des relativen dynamischen E-Moduls im Vergleich zu Betonen ohne künstlich eingebrachte Luftporen deutlich. Dies gilt sowohl für AKR-geschädigte als auch für ungeschädigte Betone.
- Eine AKR reduzierte den Frost-Widerstand von Betonen mit und ohne künstlich eingebrachte Luftporen. So nahm mit zunehmender AKR-Dehnung die Frost-Dehnung zu und der relative dynamische E-Modul ab. Die Masse änderte sich in der Regel nur wenig.

Frost-Tausalz-Widerstand

- Betone, die einen sehr hohen Frost-Tausalz-Widerstand aufweisen sollen, werden in der Regel mit künstlichen Luftporen hergestellt. Eine AKR reduzierte den Frost-Tausalz-Widerstand (Masseverlust durch Abwitterung) dieser LP-Betone teilweise.
- Betone ohne künstlich eingebrachte Luftporen hatten in der Regel keinen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand (Masseverlust > 5 M.-% nach 100 Frost-Tau-Wechseln). Der Masseverlust nahm außerdem mit zunehmendem AKR-Schädigungsgrad (Dehnung) zu.

Prüfung des Schädigungsgrads von Betonen

Der *Stiffness Damage Test* [1; 2; 3; 4] ist eine international angewandte und für Deutschland neue Bewertungsmethode, mit der Schäden an frühzeitig gealterten Bestandsbauwerken präzise quantifiziert werden können. Eine AKR und Frost-Tauwechsel können Risse in Betonen hervorrufen und diese schädigen. Der E-Modul des Betons nimmt dadurch ab. Da bei Bauwerken der E-Modul des ungeschädigten Betons häufig nicht als Referenz herangezogen werden kann und der E-Modul stark durch die Gesteinskörnung beeinflusst wird, ist es vielfach nicht möglich den Schädigungsgrad eines Betons anhand des E-Moduls zu beschreiben. Der Stiffness Damage Index (SDI) wird aus dem Spannungs-Dehnungs-Verhalten des geschädigten Betons zu einem beliebigen Zeitpunkt berechnet und ist dimensionslos. Die Kenntnis der Eigenschaften des ungeschädigten Betons im Ausgangszustand ist nicht notwendig Mit zunehmender Schädigung sinkt der E-Modul und der SDI nimmt zu (**Bild 2**).

Die Ergebnisse der Laborbetone und der Bohrkerne aus geschädigten Autobahnen zeigten außerdem, dass mit zunehmendem Schädigungsgrad das Verhältnis von der Betondruckfestigkeit zum stabilisierten E-Modul zunehmend vom Zusammenhang nach DIN EN 1992-1-1 [5] abweicht (**Bild 3**). Die Erfahrungen aus diesem IGF-Vorhaben wurden bereits während der Projektlaufzeit zur Bewertung des Schädigungsgrads von Bauwerken und Betonbauteilen eingesetzt.

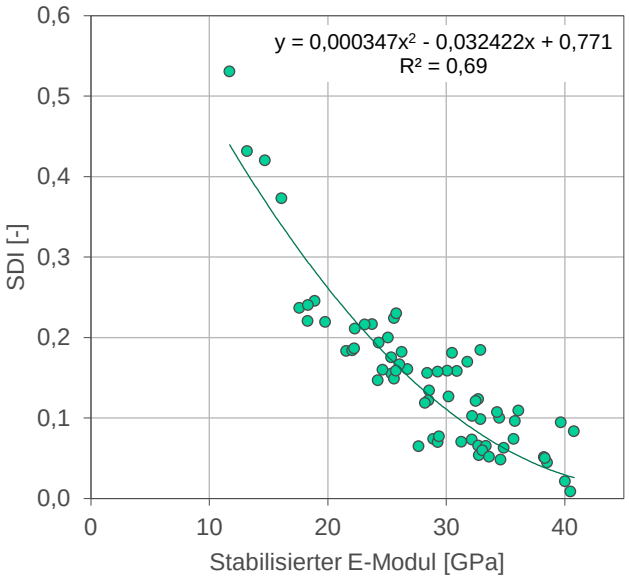

Bild 2 *Stiffness Damage Index* (SDI) zur Quantifizierung des Schädigungsgrads von verschiedenen Betonen in Abhängigkeit vom stabilisierten E-Modul

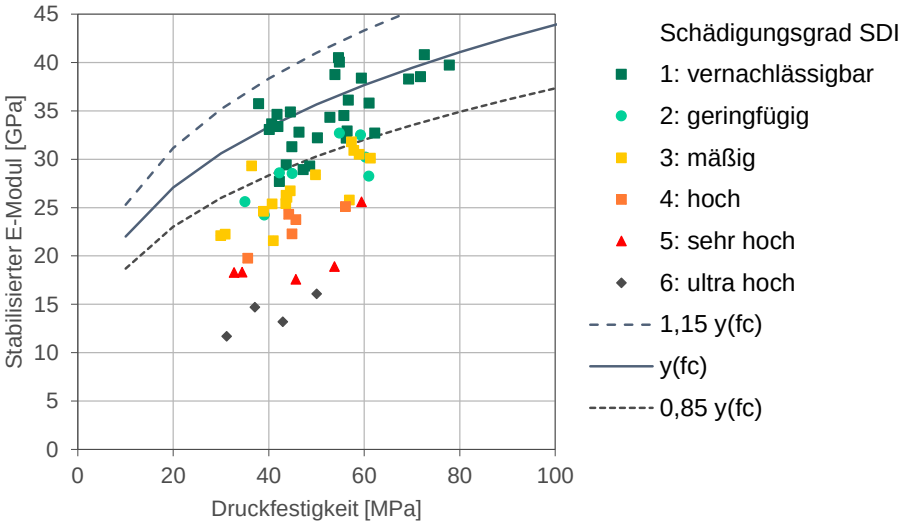

Bild 3 Stabilisierter E-Modul in Abhängigkeit von der Druckfestigkeit und des Schädigungsgrads auf Basis des *Stiffness Damage Index* (SDI); funktionaler Zusammenhang y(f_c) nach DIN EN 1992-1-1 (E_{cm} = 22 (f_{cm} /10)^{0,3})

3 Literaturverzeichnis

[1] Martin, R.-P.; Sanchez, L.; Fournier, B.; Toutlemonde, F. *Evaluation of Different Techniques for the Diagnosis & Prognosis of Internal Swelling Reaction (ISR) Mechanisms in concrete. Construction and Building Materials*. Construction and Building Materials 2017, S. 956-964

[2] Martin, R.-P.; Sanchez, L.; Fournier, B.; Toutlemonde, F. *Diagnosis of AAR and DEF: Comparison of residual expansion, stiffness damage test and damage rating index*. De Mayo Bernardes, Haroldo; Pagan Hasparyk, Nicole, Ed. 15th ICAAR proceedings : International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (Sao Paulo 03.-07.07.2016). 2016 2016

[3] Sanchez, L.F.M.; Fournier, B.; Jolin, M.; Bastien, J.; Mitchell, D. *Practical use of the Stiffness Damage Test (SDT) for assessing damage in concrete infrastructure affected by alkali-silica reaction*. Construction and Building Materials (125) 2016, S. 1178-1188

[4] Sanchez, L.F.M.; Fournier, B.; Jolin, M.; Mitchell, D.; Bastien, J. *Overall assessment of Alkali-Aggregate Reaction (AAR) in concretes presenting different strengths and incorporating a wide range of reactive aggregate types and natures*. Cement and Concrete Research 2017, S. 17-31

[5] DIN EN 1992-1-1. *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010*

[6] Norm DIN EN 12390-9 2017-05. *Prüfung von Festbeton, Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand - Abwitterung ; Deutsche Fassung CEN/TS 12390-9:2016*

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben Nr. 21252 N der VDZ Technology gGmbH, Toulouser Allee 71, 40476 Düsseldorf wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.