

Stefan Krispel

Alkali-Gesteinskörnungs-Reaktion

Internationale Entwicklungen und Erfahrungen

DI Stefan Krispel

Forschungsinstitut der VÖZ

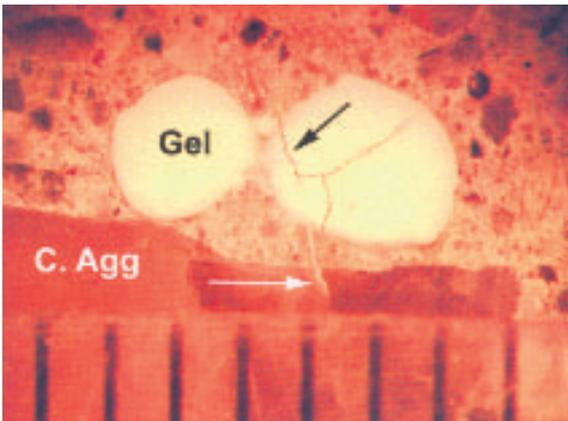


Bild 1: Zwei Luftporen gefüllt mit Gel und ein mit Gel gefüllter Riss der sich vom groben Gesteinskorn aus entwickelt (Luftporendurchmesser etwa 0,3 mm)

Einleitung

Die Alkali-Gesteinskörnungs-Reaktion (AGR) – international Alkali-Aggregate Reaction (AAR) bezeichnet – ist ein chemischer Prozess, bei dem die Alkalien im Beton mit reaktionsfähiger Kieselsäure aus den Gesteinskörnungen reagieren. Es entstehen je nach Vorhandensein weiterer Stoffe quellfähige oder nicht quellfähige Alkalisilikate. Quellfähige Silikate können im erhärteten Beton, vergleichbar mit den Treiberscheinungen der Sulfate, zu einer Schädigung des Betongefüges führen. Die Schwierigkeit besteht darin, dass die Reaktion unter bestimmten Rahmenbedingungen (Feuchtigkeit, Temperatur, Alkalieneintrag) sehr langsam verläuft und unter Umständen erst nach mehreren Jahren oder Jahrzehnten auftritt. Dadurch besteht auch die Gefahr, dass eine eventuelle Schädigung durch eine AGR nicht als solche erkannt wird. Aufgrund der oftmals langsamen Reaktionsentwicklung und damit einhergehend späteren Schadenserkenntnis müssen im Labor beschleunigte Versuchsverfahren Anwendung finden, um ein Gefährdungspotenzial abschätzen zu können.

AGR ist ein weltweit verbreitetes Phänomen mit regionalen Unterschiedlichkeiten, die sich aus der Verschiedenartigkeit der Gesteinskörnungen, den vorherrschenden Umweltbedingungen und den ländertypischen Bauweisen herleiten lassen. Daraus resultierend sind die Erfahrungen und Zu-

gehensweisen natürlich von Land zu Land unterschiedlich und führten zu einer Vielzahl an Vorgehensweisen hinsichtlich der Prävention und einer Unzahl verschiedenster Testverfahren. Ein wesentlicher Punkt zur Vermeidung oder Minimierung von AGR ist die Implementierung geeigneter Richtlinien oder Regelwerke. Zu berücksichtigen sind hier die Umweltbedingungen, das vorhandene Bindemittel und die Reaktivität der zu verwendenden Gesteinskörnungen. Als weiteres Kriterium ist noch die Bedeutung des zu errichtenden Bauwerks anzunehmen. Als Beispiel für eine auf regionale Gegebenheiten basierende Richtlinie sei die der Niederlande [1] genannt, aber auch die deutsche Alkalirichtlinie [2] zeigt sehr deutlich die Einbindung lokaler Ressourcen und die Berücksichtigung gegebener Rahmenbedingungen.

Da die Fragestellungen betreffend dem Auftreten einer AGR und/oder Schädigungen durch AGR äußerst komplex sind, wird versucht, internationale Forschungsanstrengungen zu bündeln und eine Art von globalem Wissensmanagement zu implementieren. Auch in Österreich sind einzelne Bauwerke, bei welchen u. a. eine AGR mitbeteiligt sein dürfte [3], bekannt und demzufolge nimmt das Forschungsinstitut der VÖZ am internationalen Erfahrungs- und Wissensaustausch teil und partizipiert in wichtigen internationalen Arbeitsgruppen und Gremien zu dieser Thematik.

1. 12th International Conference on Alkali-Aggregate-Reaction in Concrete (ICAAR) in Peking

Seit 1974 gibt es regelmäßige Treffen von Mitgliedern der Wissenschaft, Industrie und Verwaltung um neue Erkenntnisse auszutauschen und Bereiche weiterer Entwicklung und Forschung zu diskutieren. Als wesentliches Ziel neben dem Wissens- und Erfahrungsaustausch gilt die Erarbeitung praktischer Lösungsansätze für als evident betrachtete Fragestellungen.

Internationale Erkenntnisse zur Verringerung des AGR-Risikos

Grundsätzlich muss in der, zugegebenermaßen komplexen und umfangreichen Thematik, unterschieden werden zwischen:

- Vorbeugung
- Erkennung bzw. Diagnose
- Sanierung.

Im Bereich der Vorbeugung gibt es zur Vermeidung einer schädlichen AGR unterschiedliche Maßnahmen. Dies wäre neben einer sorgfältigen Entwässerung (des Bauteils, des Untergrundes,..) die Verwendung von geeigneten Betonzusammensetzungen. Oftmals kann aber das Wasser nicht hundertprozentig ferngehalten werden, in diesem Fall ist es umso wichtiger, dass neben mäßig reaktiven Gesteinskörnungen eben geeignete Bindemittel und Betonaus-

gangsstoffe verwendet werden. Wenn Wasser weder ferngehalten noch Abdichtungsmaßnahmen (z. B. Imprägnierung) gesetzt werden können, dann bietet sich als gute Alternative der Einsatz eines Betons mit einem dichteren Gefüge an. Durch das dichtere Betongefüge wird das Eindringen von Feuchtigkeit vermindert und damit verringert sich auch der Eintrag an Alkalien, die mittels Feuchtigkeit in das Betoninnere transportiert werden.

Als Zusatzstoffe oder Bestandteile von Bindemittel werden meist Hüttensand, natürliche Puzzolane (z. B. Trass), künstliche Puzzolane (z. B. Metakaolin), Flugasche, Silikastaub und Lithium genannt. Aussagekräftige Untersuchungen liegen vor allem für Hüttensand, Flugasche und Lithium vor. Sehr gute Ergebnisse liefern Zemente mit höheren Hüttensandgehalten, während die Zugabe von Lithium neben den enormen Kosten auch bei einigen Betonen eine Verstärkung der AGR hervorrufen kann [4]. Chinesische Untersuchungen ergaben, dass eine Unterart der AGR, die so genannte ACR (Alkali-Carbonate Reaction) nicht durch Low-Alkali-Zemente verhindert werden kann [4].

Untersuchungen in Deutschland zeigten, dass Betone, die mit einem bestimmten Anteil an Flugasche hergestellt wurden, und sowohl bei Außenlagerung als auch bei Lagerung in der Nebelkammer (40° C) über mehrere Jahre aufbewahrt und geprüft wurden, keine einheitlichen Resultate liefern konnten. Die in der Nebelkammer gelagerten Probekörper wiesen zwar keine Schäden beziehungsweise blieben unter der erlaubten Dehnung, aber die im Feldversuch geprüften Probekörper (Außenlagerung auf Dach) überschritten, bei einer Verwendung von 15 % bzw. 20 % Flugasche, die erlaubten Dehnungswerte [5]. Dies wird allgemein darauf zurück geführt, dass die Flugasche bei Nebelkammerlagerung durch die vorherrschende Temperatur optimal „aktiviert“ wird und dadurch positiv gegen eine möglicherweise schädigende AGR einwirkt beziehungsweise größere Dehnungen unterbindet. Bei Außenlagerung sind diese kontinuierlichen Temperaturen (40° C) natürlich nicht gegeben und deshalb treten hier vermehrt Dehnungen auf.

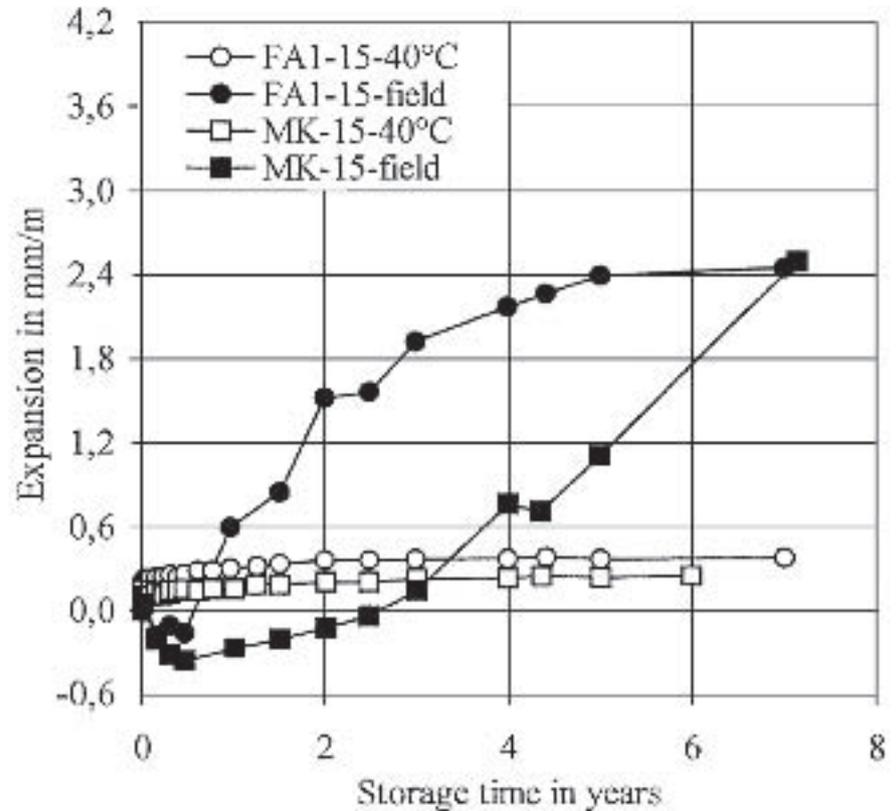


Bild 2: Dehnungen von Beton mit Flugasche und Beton mit Metakaolin (Nebelkammerlagerung und Außenlagerung)

Aus dem abgebildeten Diagramm ist der Unterschied in den Lagerungsarten und auch die Tendenz der zukünftigen Entwicklung sehr gut ablesbar.

Aus dem Bild 2 ist auch ersichtlich, dass die Verwendung von künstlichen Puzzolanen, hier Metakaolin, zumindest mit der hier verwendeten Menge, bei Außenlagerung keine Verringerung der Dehnungen bewirkt. Die gleichen Ergebnisse zeigen sich auch bei Zugabe von 10 % Mikrosilikas [5]. Auch in der AGR-relevanten Richtlinie der Niederlande [1] werden, wegen ihrer guten Resultate, Hüttensandzemente neben Zementen mit Flugasche zur Vermeidung einer schädlichen AGR vorgeschrieben.

Wesentlich ist die Möglichkeit der nachträglichen Anreicherung von Alkalien. Diese wurden bislang primär dem Zement zugeschrieben bzw. aus dem Zement stammend beschrieben. Neuere Forschungen zeigten jedoch, dass der Zement nicht die einzige

Quelle ist. Eine Alkalienzufuhr in beträchtlicher Menge erfolgt durch die Verwendung von Taumitteln im Winterdienst, diese verstärken nicht nur eine bereits ablaufende Reaktion, sondern können auch eine AGR erzeugen [6]. Zusätzlich können Alkalien auch aus den Gesteinskörnungen freigesetzt werden, wie Untersuchungen in Australien an unterschiedlichen Basalten ergaben. Es zeigte sich, dass die geprüften Basalte unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich Alkali-Reaktivität lieferten [7]. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass zwar der SiO_2 -Gehalt bei reaktiven und nicht-reaktiven Basaltgesteinen annähernd gleich ist, aber der wesentliche Unterschied in der Form des vorhandenen SiO_2 liegt. Untersuchungen an Alkalien, die aus Gesteinen freigesetzt werden, sind auch in Kanada von Bérubé und Fournier durchgeführt worden [8]. Dies erklärt auch, dass bei Verwendung von Low-Alkali-Zementen (NA-Zementen), Schädigungen

an Betonen aufgetreten sind. Durch Versuche konnte der Nachweis geführt werden, dass Zemente mit niedrigerem Na₂O-Äquivalent nicht zwangsläufig zu geringeren Dehnungen führen und dadurch zur Minimierung des AGR-Risikos beitragen [9].

Die Erkennung bzw. Diagnose gestaltet sich etwas komplexer, da zwar der Nachweis einer vorhandenen Reaktivität nicht schwierig ist, aber die Abschätzung des Eintritts einer Schädigung am Bauwerk und der Zeitpunkt dieses Eintritts (z. B. nach 10 Jahren oder nach 15 Jahren) sehr diffizil sind.

Für den Bereich der Sanierung gibt es mehrere Ansatzpunkte, es muss aber vorab erwähnt werden, dass es sich meist noch um Laborversuche oder um erste Tastversuche an vorhandenen Betonkonstruktionen handelt. Eine Möglichkeit ist die Verwendung von Lithium zur Reduktion von Dehnungen. Die verwendete Lithiumlösung wird mittels eines elektrochemischen Verfahrens in den Betonteil injiziert, der dadurch erhaltene Effekt ist aber nur auf oberflächennahe Bereiche beschränkt anwendbar. Wenn man den Effekt auf tiefere Bereiche des Beton ausweiten will, dann muss die Spannung erhöht werden, dies kann aber zu einer negativen Beeinflussung der Verbindung Stahl-Beton führen [10]. Eine andere Lösung ist Lithiumnitrat unter Druck mittels Bohrlöcher, über einen Zeitraum von mehreren Monaten, in die Betonkonstruktion zu injizieren [11]. Das in der Konstruktion vorhandene Gel wird dadurch in eine unschädliche Verbindung umgewandelt.

Wesentlich zur Begrenzung weiterer Schäden ist eine Minimierung des Feuchtezutritts. Dies kann durch nachträglich aufgebraute Beschichtungen erreicht werden. Weiters wird durch Beschichtungen versucht, eine Verbesserung der Tragfähigkeitseigenschaften des geschädigten Betons herbeizuführen. Dieses Verfahren wird in einem ersten Versuch an einem Brückenpfeiler in Norwegen getestet [12].

Andere Verfahren wenden Mantelbewehrungen und Reparaturbetone, an um die Tragfähigkeitseigenschaften der durch AGR geschädigten Bauteile zu verstärken und die Lebensdauer der Konstruktionen zu verlängern.

2. EU-Projekt PARTNER

Das Ziel dieses Projektes ist die Erstellung einer Basis für eine einheitliche europäische Testmethodik zur Bewertung und Klassifizierung von Alkali-reaktiven Gesteinskörnungen. Dies soll erreicht werden, indem man unterschiedliche Testverfahren auf ihre Eignung zur Erkennung von Gesteinskörnungen mit reaktiven Bestandteilen anhand einer Vielzahl von europäischen Gesteinskörnungen unterschiedlicher Art und unterschiedlicher geologischer Herkunft untersucht. An diesem Projekt nehmen 23 Institute und Firmen aus 13 verschiedenen Ländern teil (www.partner.eu.com).

1. Prüfverfahren

Der erste Teil des Projektes EU-Partner umfasst die Ermittlung der Eignung von vorgegebenen Prüfverfahren zur Bestimmung der Reaktivität unterschiedlicher europäischer Gesteinskörnungen. Grundlage dieser Untersuchungen sind die durch das RILEM technical committee TC 106 entwickelten Prüfverfahren und zusätzlich einige lokal angewandte Prüfmethoden. Um fundierte Aussagen zu erhalten, werden sowohl bekannt reaktive als auch nicht reaktive Gesteinskörnungen zur Bestimmung herangezogen.

Ein weiterer Punkt des Arbeitsprogramms ist der Abgleich der in den Laboruntersuchungen erhaltenen Ergebnisse mit dem Verhalten von Gesteinskörnungen beziehungsweise des Betons im Feldversuch. Um hier zu einer möglichst breiten Ergebnisbasis zu gelangen, wurden an einer größeren Anzahl von Stellen, verteilt über ganz Europa, Probekörper im Freien gelagert. Große Bedeutung wurde dabei natürlich den unterschiedlichen klimatischen Bedingungen zugestanden, so wurden z. B. Probekörper sowohl in kälteren als auch in wärmeren und in trockeneren wie in feuchteren Regionen gelagert. Dies bedeutet zwar einen höheren, sowohl logistischen als auch prüftechnischen, Aufwand, aber nur auf diesem Weg kann man die in den einzelnen Ländern Europas vorherrschenden Rahmenbedingungen im Prüfprogramm simulieren und in die daraus resultierenden Empfehlungen aufnehmen.

Die Arbeiten zu diesem Abschnitt sind nun weitgehend abgeschlossen und den Mitgliedern des PARTNER-Projektes in einem Vorentwurf zur Kenntnis gebracht worden. Die Ergebnisse zeigten, dass von den teilnehmenden Instituten und Firmen sowohl die bedenklichen als auch unbedenkliche Gesteinskörnungen erkannt werden konnten.

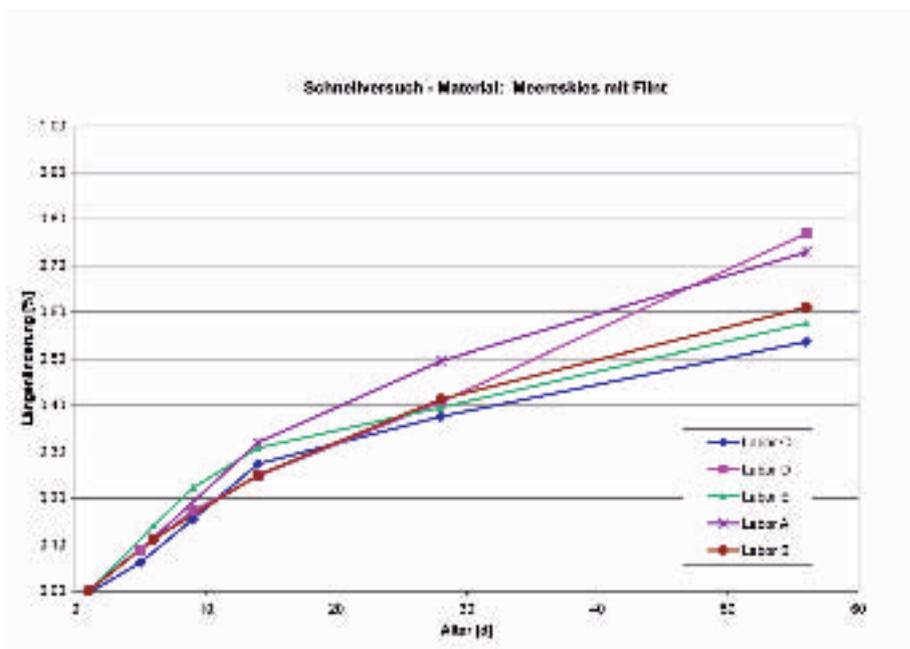


Bild 3: Schnellversuch Material: Meeresschalen mit Flint

Die Ergebnisse der durch das RILEM technical committee TC 106 entwickelten Prüfverfahren zeigen, dass es trotz der Verfahrensvielfalt zuverlässige internationale Prüfmethoden gibt, die auch auf lokale Gegebenheiten Rücksicht nehmen und damit Bedeutung sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene erlangen. Daher hat auch der Fachnormenausschuss 010, Beton-, Stahlbeton- und Massivbau des Österreichischen Normungsinstitutes diese Verfahren schon im Jahre 2002 für die Grundlage der ONR Richtlinie 23100 – Beurteilung von Gesteinskörnungen für Beton auf Alkali-Reaktivität [13] herangezogen. Das Forschungsinstitut der VÖZ ist insbesondere wegen seiner zahlreichen Untersuchungen auf diesem Gebiet [3, 14, 15] zur Durchführung dieser Prüfungen akkreditiert.

2. Präzisionstests, geologischer und petrographischer Atlas

Aufbauend auf den Ergebnissen des ersten Teils werden noch Präzisionstests unter genauer Vorgabe der Prüfverfahren durchgeführt. Ziel dieser mit genau definierten Ausgangsstoffen und Zusammensetzungen zu absolvierenden Untersuchungen ist neben der Ermittlung der Prüfstreuung auch die Erstellung von Empfehlungen für zukünftige Bauwerke.

Begleitend dazu soll ein „Geologischer und petrographischer Atlas“ erstellt werden. Dieser soll neben Beschreibungen einzelner Gesteinsarten auch Bilder von Dünnschliffen und petrographische Einteilungen enthalten. Ergänzt wird der Atlas durch die Darstellung eines petrographischen Prüfverfahrens.

Schlussfolgerung

Wie schon eingangs erwähnt, gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten, sowohl im Bereich der Früherkennung, Maßnahmen und Diagnose als auch bei den Sanierungsmöglichkeiten. Trotz des internationalen Wissensaustausches in diesen Fragestellungen muss eine gute Lösung bedacht nehmen auf die nationalen Rahmenbedingungen wie z. B. Rohstoffvorkommen, klimatische Bedingungen oder Bauweisen.

Dies ist nur möglich, wenn man erforderliche Richtlinien und Regelwerke den regionalen Gegebenheiten anpasst.

Generell kann man aber sagen, dass vor allem in den Bereichen Vorbeugung und Maßnahmen zur Vermeidung von AGR mehr oder weniger einheitliche Ansätze gefunden wurden. Bei den Sanierungsmassnahmen, die meist sehr zeitaufwändig und kostenintensiv sind, ist man erst im Anfangsstadium der Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Einige davon dürften sich, abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall, bewähren. Die Schwierigkeit liegt, wie einleitend schon erwähnt, darin, den Grad einer allfälligen Schädigung im Bauwerk, den damit verbundenen Zeitraum des Eintritts und die notwendige Restnutzungsdauer abzuschätzen, denn auf diese Prognosen hin müssen die jeweiligen Sanierungsmassnahmen abgestimmt werden. Es sind weitere Forschungsanstrengungen vonnöten, um Risiken zu minimieren und Lösungen auch für weitere Anwendungen wie z. B. Recyclingbeton zu entwickeln.

Literatur

- [1] Bakker, J.; de Bruijn, W.: New Dutch Guideline on ASR-Prevention. Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, October 15–19, 2004, Beijing, China.
- [2] DAfStb-Richtlinie, Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie); Deutscher Ausschuss für Stahlbeton im DIN Deutschen Institut für Normung, Berlin 1997.
- [3] Sommer, H.; Steigenberger, J.; Zückert, U.: Vermeiden von Schäden durch Alkali-Zuschlag-Reaktion. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Straßenforschung, Heft 504, Wien 2001.
- [4] Tang, M.; Deng, M.: Progress on the Studies of Alkali-Carbonate Reaction. Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, October 15–19, 2004, Beijing, China.
- [5] Bokern, J.; Siebel, E.: Alkali-Silica Reaction in Germany – Transfer of Laboratory Results to Practice. Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, October 15–19, 2004, Beijing, China.
- [6] Wood, J. G. M.: When does AAR Stop: In the Laboratory and in the Field? Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, October 15–19, 2004, Beijing, China.
- [7] Shahan, A.: Alkali-Aggregate Reaction and Basalt Aggregates. Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, October 15–19, 2004, Beijing, China.
- [8] Bérubé, M.-A.; Fournier, B.: Alkalies Releasable by Aggregates in Concrete – Significance and Test Methods. Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, October 15–19, 2004, Beijing, China.
- [9] Feng, N.-Q.; Hao, T.-Y.: A New Accelerated Method to Evaluate the Suppressing Effect of Mineral Admixtures on Alkali-Silica Reaction. Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, October 15–19, 2004, Beijing, China.
- [10] Lee, C.; Liu, C.; Su, M.: Feasibility of Using Rapid Lithium Migration Technique to Repair Concrete Damaged by Alkali-Aggregate Reaction. Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, October 15–19, 2004, Beijing, China.
- [11] Kaneyoshi, A.; Uchida H., Kano, H.: Development of ASR Suppressing Technology (Tehe AAR/Li Method). Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, October 15–19, 2004, Beijing, China.
- [12] Wigum, B.; Thorenfeldt, E.: Sheets of Carbon Fibre Reinforced Polymers (CFRP) as a Repair Material in Order to Strengthen and Repair Concrete Damaged by Alkali Aggregate Reaction. Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, October 15–19, 2004, Beijing, China.
- [13] ONR 23100 – Beurteilung von Gesteinskörnungen für Beton auf Alkali-Reaktivität, Österreichisches Normungsinstitut, Wien 01.08.2002.
- [14] Krispel, St.; Steigenberger, J.; Sommer, H.: Alkali-Zuschlag-Reaktion Teil II. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Straßenforschung, Heft 545, Wien 2004.
- [15] Steigenberger, J.: Alkalizuschlag-Reaktion: Ein Thema auch in Österreich? Zement und Beton 4/1996.