

Peter Nischer, Stefan Krispel

Reaktive Kieselsäure in Gesteinskörnungen

Auswirkungen auf die Beständigkeit und Einfluss des Zementes

Univ.-Doz. DI Dr. Peter Nischer

Forschungsinstitut der VÖZ

DI Stefan Krispel

Forschungsinstitut der VÖZ

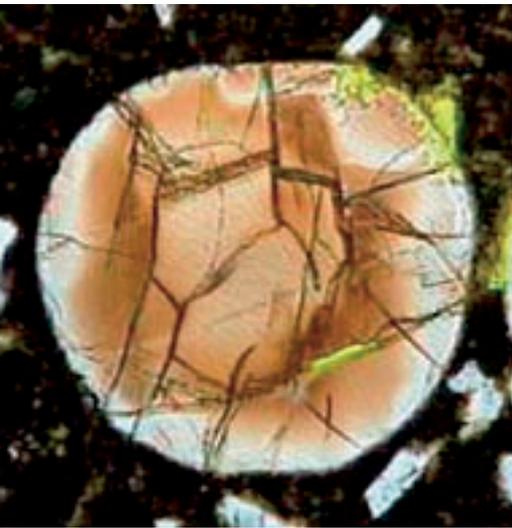


Bild 1: Luftporen gefüllt mit quellfähigem Alkalisilikat-Gel

Fotos & Grafiken: © VÖZFI

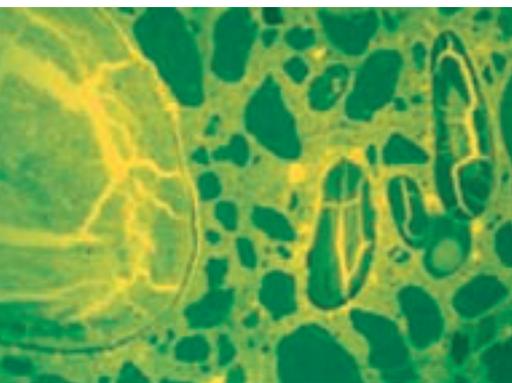


Bild 2: Von reaktivem Gesteinskorn ausgehender, mit quellfähigem Alkalisilikat-Gel gefüllter Riss im Zementstein

1. Problemstellung

Wenn Alkalien, z. B. im Beton, mit reaktionsfähiger Kieselsäure reagieren, entstehen je nach Vorhandensein weiterer Stoffe quellfähige oder nicht quellfähige Alkalisilikate. Im erhärteten Beton kommt die reaktionsfähige Kieselsäure im Allgemeinen aus entsprechend reaktiven Gesteinskörnungen; die Alkalien aus dem Zement, eventuell aus der Gesteinskörnung, zu einem entscheidenden Anteil aber z. B. bei Betonstraßen, durch nachträgliche Anreicherung von außen.

Da die reaktionsfähige Kieselsäure im erhärteten – im Allgemeinen einige Jahre alten – Beton überwiegend aus der Gesteinskörnung kommt, spricht man von einer Alkali-Gesteinskörnungs-Reaktion (AGR). Wenn quellfähige Silikate im erhärteten Beton entstehen, führt diese Reaktion, vergleichbar mit den Treiberscheinungen der Sulfate, zu einer Schädigung des Betongefüges.

Auf Grund der Komplexität dieser Reaktion ist sowohl das Vorhandensein der Alkalien als auch der reaktionsfähigen Kieselsäure eine notwendige, aber keine ausreichende Voraussetzung für das Entstehen einer schädlichen AGR, was die unterschiedlichen internationalen Aussagen zu diesem Thema erklärt.

Die Frage der AGR wurde bis jetzt insbesondere in Ländern, in denen Flint, Grauwacke und Opal die reaktionsfähige Kieselsäure enthalten und daher in großem Umfang als Gesteinskörnungen zur Betonherstellung verwendet werden (z. B. in Deutschland), behandelt.

Reaktive Gesteinskörnungen sind in den in Österreich für die Betonherstellung im Wesentlichen verwendeten, durch Flussablagerungen entstandenen Kiesen und Sanden, nur in unbedeutendem Umfang

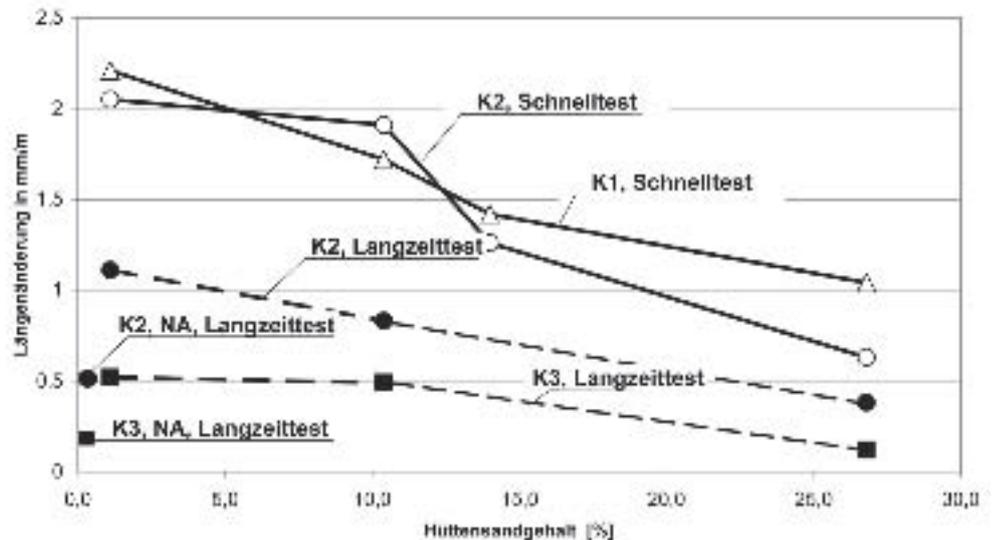
enthalten. Schäden durch AGR-Reaktionen sind daher in Österreich praktisch unbekannt. Bei vor einigen Jahrzehnten hergestellten Betonen waren jedoch an Dünnschliffen (Bild 1 und Bild 2) bei einzelnen Körnern die charakteristischen AGR-Schädigungen (Luftporen gefüllt mit Gel bzw. Gel um oder zwischen den Gesteinskörnungen) feststellbar.

Da insbesondere bei für die Betonherstellung nicht erprobten Gesteinskörnungen die Anwesenheit reaktiver Kieselsäure nicht ausgeschlossen werden kann, wurde im Jahr 2002 vom Österreichischen Normungsinstitut die ON-Regel 23100 – Beurteilung von Gesteinskörnungen für Beton auf Alkali-Reaktivität [1] als nationale Umsetzung der entsprechenden Rilem-Prüfvorschriften [2–4] herausgegeben und vom Forschungsinstitut der Vereinigung der österreichischen Zementindustrie, mit Unterstützung der Straßenforschung, ein Forschungsprojekt [5] durchgeführt.

Die Untersuchungen mit verschiedenen Zementen und Gesteinskörnungen zeigten, dass sich der in Österreich seit Jahrzehnten im Betondeckenbau verwendete CEM II/A-S bei den verwendeten Gesteinskörnungen nur unwesentlich schlechter verhält wie ein ausländischer Low-Alkali-Zement, und bei Verwendung von Zement CEM II/B-S die Dehnungen bedeutend geringer und selbst bei zweifelhaften Kiesmaterialien unbedeutend waren (Bild 3). Die jahrzehntelange Verwendung von CEM II/A-S im Betonstraßenbau ist sicherlich ein Grund, dass Österreich bis jetzt von gravierenden AGR-Schäden verschont blieb.

Um zu beurteilen, ob das in [5] gefundene Ergebnis des positiven Einflusses von CEM II/..-S-Zementen allgemein gültig ist, wurde vom Forschungsinstitut der Vereinigung der österreichischen Zementindustrie,

Bild 3: Bei Prüfung nach [1] gemessene Dehnungen im Beton in Abhängigkeit vom Hüttensandgehalt des Zementes [5].
K1, K2: reaktive Gesteinskörnungen;
K3: nicht reaktive Gesteinskörnung.
NA: Low-Alkali-Zement



mit Unterstützung des FFF, ein Forschungsprojekt [6] durchgeführt. Über die Prüfung zum Nachweis einer verringerten Dehnung bei reaktiver Kieselsäure in Gesteinskörnungen und die dabei an verschiedenen CEM II/..-S-Zementen gefundenen Ergebnisse soll hier berichtet werden.

2. Voraussetzung für die Vergleichbarkeit von an verschiedenen Zementen erhaltenen Ergebnissen

Gemäß [1; 2] ist zur Beurteilung der Gesteinskörnungen ein CEM-I-Zement mit einem Blainewert von mindestens 4.500 cm³/g zu verwenden. Solche Zemente haben üblicherweise nach 1 Tag eine Normendruckfestigkeit von etwa 30 N/mm² und nach 2 Tagen eine von etwa 40 N/mm². Die zu untersuchenden CEM II/..-S-Zemente hatten nach 1 Tag eine Normendruckfestigkeit von 6 bis 14 N/mm² und nach 2 Tagen von 16 bis 23 N/mm².

Für die Beständigkeit bei chemischen Reaktionen ist auch der Hydratationsgrad und damit die Druckfestigkeit entscheidend. Für eine vergleichende Beurteilung verschiedener Zemente müssen diese daher bei vergleichbaren Hydratationsgraden geprüft werden. Bei Prüfung nach [1; 2] wird der Probekörper nach dem Ausschalen im Alter von

1 Tag in Wasser auf 80 °C aufgeheizt und im Alter von 2 Tagen in Lauge gelagert. Mit der Lagerung in Natronlauge wird die Zufuhr bzw. nachträgliche Alkalianreicherung von außen simuliert. Da bei langsamer erhärtenden Zementen auch die Hydratation beim Aufheizen auf 80°C langsamer als bei rasch erhärtenden Zementen ist, wurden die nachstehenden Versuche so durchgeführt, dass die Probekörper mit den zu untersuchenden Zementen erst ausgeschalt wurden, als sie eine Festigkeit von (0,7 β_{D1} + 0,3 β_{D2}) des CEM-I-Vergleichszementes erreicht hatten.

3. Prüfverfahren zum Nachweis der verringerten Dehnung bei reaktiver Kieselsäure in Gesteinskörnungen

Für die Versuche wurde eine Gesteinskörnung verwendet, die bei Prüfung nach [1] beim Schnelltest an Prismen mit einem CEM-I-52,5-R-Zement eine Dehnung von 1,4 ‰ aufwies und damit gemäß [1] wahrscheinlich reaktive Kieselsäure enthält. Wenn in einer Gesteinskörnung reaktive Kieselsäure enthalten ist, kann eine AGR-Reaktion entstehen. Dies muss aber nicht der Fall sein. Diese Gesteinskörnungen werden daher als „bedenkliche Gesteinskörnung“ bezeichnet.

Weiters wurde mit diesem Zement eine seit etwa 40 Jahren im Betonstraßen und Brückenbau erfolgreich verwendete Gesteinskörnung geprüft. Sie wird daher als „unbedenkliche Gesteinskörnung“ deklariert

Der Dehnungsverlauf, bei Lagerung in Natronlauge, der Probekörper mit CEM-I-52,5-R-Zement mit beiden Gesteinskörnungen und beispielhaft mit der Gesteinskörnung mit 1,4 ‰ Dehnung mit einem CEM-II/B-S-Zement zeigt Bild 4. Deutlich ist die positive Wirkung des CEM II/B-S Zementes nicht nur auf die Größe, sondern auch auf den Verlauf der Dehnung zu erkennen. Während beim CEM-I-52,5-R Zement auch bei der für die Betonherstellung „unbedenklichen Gesteinskörnung“ ab 10 Tagen Lagerung in der Lauge eine Beschleunigung der Dehnung eintritt und die Gesamtdehnung nach 28 Tagen Lagerung in Lauge 70 % jener der „bedenklichen Gesteinskörnung“ beträgt, ist beim CEM-II/B-S-Zement auch bei der „bedenklichen Gesteinskörnung“ keine Beschleunigung der Dehnung mit zunehmender Lagerungsdauer feststellbar. Darüber hinaus ist die Gesamtdehnung nach 28 Tagen Lagerung in Lauge geringer als jene bei der „unbedenklichen Gesteinskörnung“ mit CEM-I-52,5-R-Zement. Auf Grund dieser Dehnungsverläufe ist zur Beurteilung der Auswirkung verschiedener

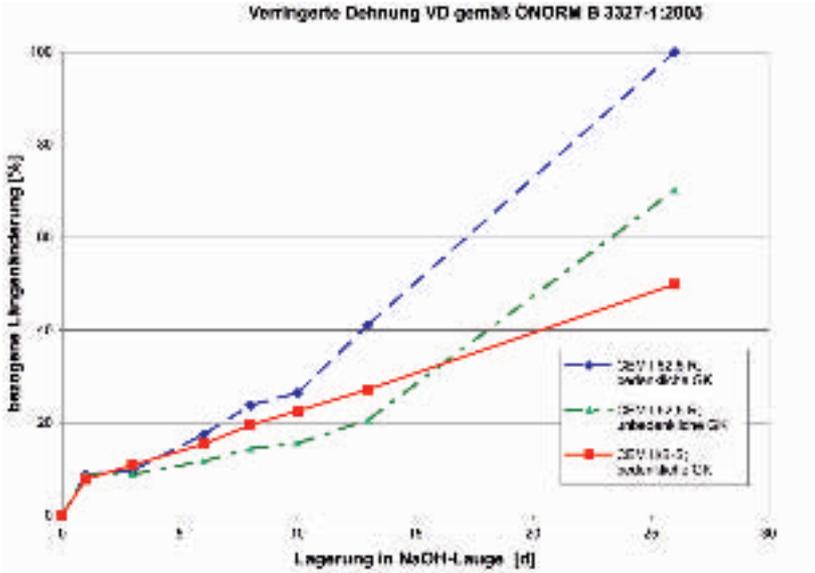


Bild 4: Dehnungsverlauf bei Lagerung in Natronlauge von Mörtelprismen mit einer „unbedenklichen Gesteinskörnung“ bzw. einer „bedenklichen Gesteinskörnung“ bei verschiedenen Zementen.

Zemente auf die Dehnung eine Lagerungsdauer von 14 Tagen in der Lauge nicht ausreichend, es ist eine Lagerung von 28 Tagen erforderlich.

In Bild 5 ist für alle untersuchten Zemente die Dehnung der Mörtelprismen mit der „bedenklichen Gesteinskörnung“ bei Lagerung in Natronlauge nach 28 Tagen in Ab-

hängigkeit vom Hüttensandgehalt aufgetragen. Als 100 % wurde die Dehnung mit dieser Gesteinskörnung mit dem CEM-I-52,5-R-Zement gesetzt. Deutlich ist die gute Korrelation zwischen Dehnung und Hüttensandgehalt ersichtlich. Ein höherer Hüttensandgehalt reduziert eindeutig die Dehnung.

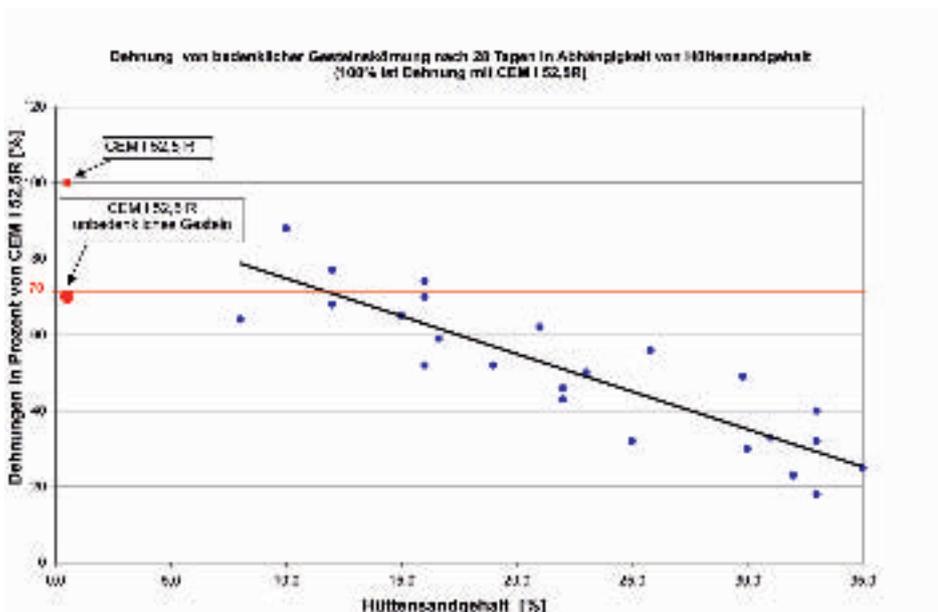


Bild 5: Dehnung bei Lagerung in Natronlauge der untersuchten Mörtelprismen mit „bedenklicher Gesteinskörnung“ und verschiedenen Zementen in Abhängigkeit vom Hüttensandgehalt.

In Bild 6 ist für alle untersuchten Zemente die Dehnung der Mörtelprismen mit der „bedenklichen Gesteinskörnung“ bei Lagerung in Natronlauge nach 28 Tagen in Abhängigkeit vom Na_2O -Äquivalent der Zemente aufgetragen. Als 100 % wurde die Dehnung mit dieser Gesteinskörnung und CEM-I-52,5-R-Zement gesetzt. Die Punktwolke verdeutlicht, dass bei der untersuchten „bedenklichen Gesteinskörnung“ keine Korrelation zwischen Dehnung und Na_2O -Äquivalent besteht. Es ist aber auch aus dieser Darstellung ersichtlich, dass ein höherer Hüttensandgehalt die Dehnung reduziert.

4. Praktische Umsetzung

Da sich die positive Wirkung des Hüttensandgehaltes auf die Dehnung bei „bedenklichen Gesteinskörnungen“ bestätigt hat, werden in der neuen Fassung der ÖNORM B 3327-1:2005 [7] als Deckenzemente nur mehr CEM-II/.S-Zemente zugelassen die eine verringerte Dehnung bei Anwesenheit von reaktiver Kieselsäure in Gesteinskörnungen nachgewiesen haben. Als Anforderung wurde jene Dehnung festgelegt, die bei der vorgeschriebenen Prüfung eine auf Grund jahrzehntelanger Verwendung im Betonstraßen und Brückenbau „unbedenk-

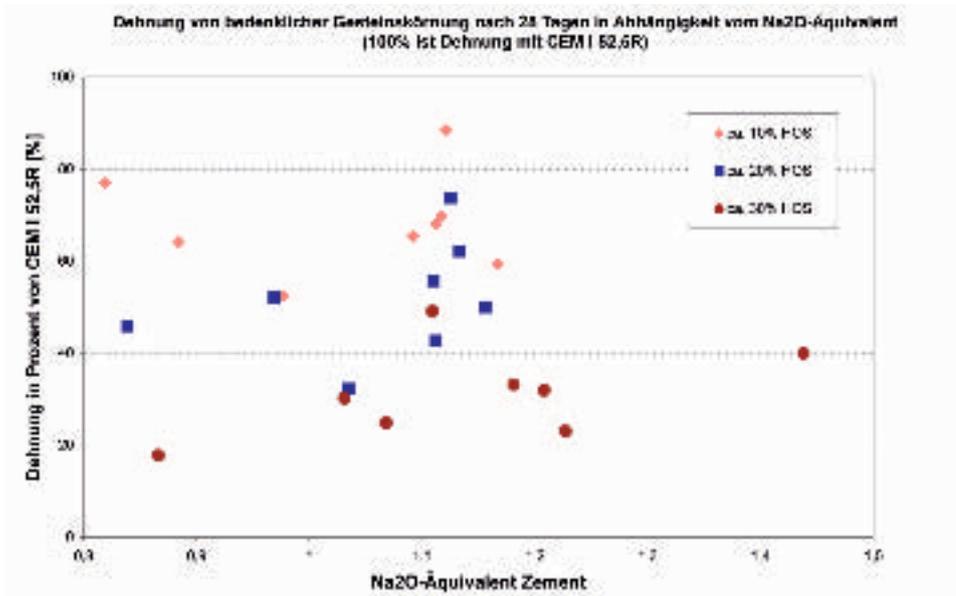


Bild 6: Dehnung der untersuchten Mörtelprismen mit „bedenklicher Gesteinskörnung“ und verschiedenen Zementen in Abhängigkeit vom Na₂O-Äquivalent.

liche Gesteinskörnung“ mit einem CEM-I-Zement erreicht.

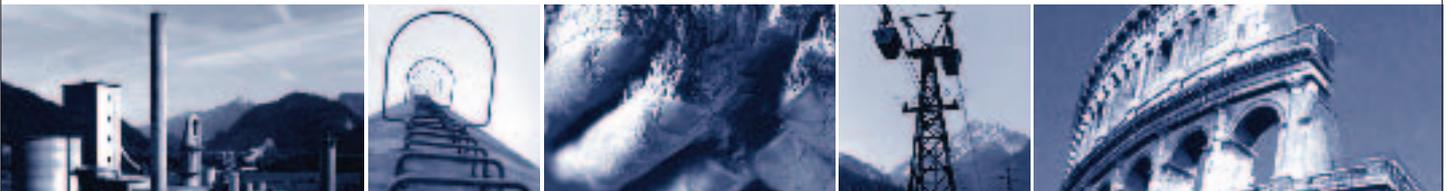
Das bei den in Österreich verwendeten Gesteinskörnungen eventuell vorhandene Restrisiko einer AGR-Reaktion wird mit diesen Zementen somit entscheidend verringert.

5. Literatur

- [1] ONR 23100 – Beurteilung von Gesteinskörnungen für Beton auf Alkali-Reaktivität, Österreichisches Normungsinstitut, Wien 01.08.2002.
- [2] Rilem TC 106-2: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – The ultra accelerated mortar-bar-test, Materials and Structures, Vol. 33, June 2000, pp. 283–289
- [3] Rilem TC 106-3: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – Method for aggregate combinations using concrete prisms, Materials and Structures, Vol. 33, June 2000, pp. 290–293
- [4] Rilem TC191-ARP: AAR-5: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – Rapid preliminary screening test for carbonate aggregates
- [5] Forschungsvorhaben Nr. 3.571 des BMVIT: Vermeiden von Schäden durch Alkali-Zuschlag-Reaktion, Teil II
- [6] Forschungsvorhaben Nr.: 808975 des FFF: Neuer Deckenzement für AGR-gefährdete Gesteinskörnung
- [7] ÖNORM B 3327-1:2005: Zemente gemäß ÖNORM EN 197-1 für besondere Verwendungen Teil 1: Zusätzliche Anforderungen, Österreichisches Normungsinstitut, 2005.

 **SCHRETTER & CIE**

Zement · Kalk · Gips · Spezialbaustoffe · Anwendungstechnik



schloss

mineralisch kreativ

Schretter & Cie
A-6682 Vils · Tirol
Tel.: +43 (0)5677/8401 · 0
Fax: +43 (0)5677/8401 · 222
office@schretter-vils.co.at · www.schretter-vils.co.at