

Verhinderung von Betonschäden infolge Alkali-Aggregat-Reaktion

Die Alkali-Aggregat-Reaktion ist in der Schweiz eine noch wenig untersuchte Reaktion des Konstruktionsbetons. Deren Auswirkungen können jedoch so weit führen, dass der Beton dauerhaft geschädigt ist. Der vorliegende Artikel erklärt die Mechanismen und zeigt Wege zur deren Verhinderung auf.

Die Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) ist primär eine chemische Reaktion zwischen reaktiven Zuschlagstoffen und freien Alkalien des Porenwassers im Mörtel oder im Beton. Das neue Produkt dieser Reaktion ist ein expansives Gel, welches im schlimmsten Fall zur Zerstörung des Betons führt.

Damit eine AAR ausgelöst werden kann, müssen folgende Faktoren zwingend vorhanden sein (Bild 1):

- Genügender Anteil an freien Alkalien (Na^+ , K^+) in der Betonmischung. Der weitaus grösste Anteil der löslichen Alkalien stammt aus dem Zement.
- Genügender Anteil an löslichen Silikatmineralien (SiO_2), die vorwiegend von den Zuschlägen herrühren.
- Wasserkontakt oder minimale Umgebungsfeuchtigkeit, was als Transportmedium der Alkalien und Silikatmineralien dient.

Hohe Temperaturen beschleunigen zudem die AAR. In Bild 1 sind die verschiedenen Faktoren aufgeführt, die eine solche chemische Reaktion beeinflussen.

Mechanismus der AAR

Die bekannteste und am häufigsten auftretende Art der Alkali-Aggregat-Reaktion ist die so genannte Alkali-Silika-Reaktion ASR – auch Alkali-Kieselsäure-Reaktion genannt –, bei der Alkali-Hydroxide (OH^- , Na^+ , K^+) im Porenwasser des Betons mit Silikatmineralien (Siliziumdioxid SiO_2) der Zuschlagstoffe ein Alkalisilika-Gel bilden.

Als weitere Art der AAR ist die Alkali-Silikat-Reaktion zu erwähnen, von der man annimmt, dass sie von gewissen Schichtsilikattypen in Phylliten, Tonen und Grauwacken ausgelöst wird.

Der Vollständigkeit halber sei hier auch die selten auftretende Alkali-Karbonat-Reaktion mit dolomitischen Kalkkomponenten aufgeführt, die in Kanada, Frankreich und China beschrieben wurde.

Das Alkali-Silika-Gel, das sich bei der AAR bildet, füllt primär die Hohlräume im Beton. Erst in einer zweiten Phase führt der daraus folgende Überdruck zu einem Rissystem im Beton. Auch Abplatzungen (pop outs) können beobachtet werden, die bei gewissen Bauten ein Sicherheitsproblem darstellen. Eine Volumenzunahme des Betons in Form einer leicht gewölbten Betonoberfläche ist ebenfalls ein typisches Merkmal. Weitere Betonschäden folgen unmittelbar, sobald der Beton die ersten Mikrorisse aufweist. Das Gel selber ist chemisch instabil und kann wieder aufgelöst werden, so dass es oft nicht erkennbar ist (Bild 2). Eine beginnende AAR kann nur mit grösseren Eingriffen und oft nur mit bescheidenem Erfolg gestoppt werden.

1

Verschiedene Faktoren beeinflussen die Alkali-Aggregat-Reaktion

Betonkomponente	Zuschlagstoffe	Zusätze	Betonmischung	Umweltbedingungen	Art des Betons
Zement					
– Typ	– Mineralogie	– Typ	– Zementgehalt	– Feuchtigkeit/Wasserkontakt	– Betonsystem
– Alkali-Gehalt und -Art	– Petrographie	– chemische Zusammensetzung	– Luftporengehalt	– Temperatur	– Dimensionierung
	– Grad der Mineralumwandlungen		– Gehalt an Zusatzmitteln und -stoffen	– externer Input von Alkalien	
	– Struktur/Textur		– Gesamtgehalt und Art der Alkalien		
	– gebrochen/Rundkies				



2

Seitenmauer Fussgängerunterführung im Kt. Neuenburg: Im Zentrum der dunklen Rissfüllungen ist das helle Gelprodukt der AAR erkennbar (Bilder: B-I-G, Büro für Ingenieurgeologie)

Bei der AAR kann zwischen einem langsam- und einem rasch-reaktiven Typ unterschieden werden. Die rasche Reaktion findet bereits nach einigen Jahren statt. Im Gegensatz dazu macht sich der langsamere Typ erst nach Jahrzehnten bemerkbar.

AAR-gefährdete Betonzuschlagstoffe

In Bild 3 sind die wichtigsten Gesteinstypen aufgeführt, die AAR-empfindliche Minerale enthalten können. Im Raume Schweiz sind innerhalb der Gruppe der Plutonite vorwiegend Granite und Granodiorite anzutreffen, die potentiell gefährdete Mineralien aufweisen können, wie sie in Bild 3 beschrieben sind. Vulkanische Serien, wie sie z.B. beim Bau des Gotthard-Basistunnels ange-troffen werden, kommen nur untergeordnet vor und eignen sich oft wegen ihrer mechanischen Eigenschaften nicht als Betonzuschlagstoffe. Metamorphe Gesteinstypen, wie in Bild 3 charakterisiert, sind im alpinen Raum weit verbreitet. Auch die beschriebenen Sedimenttypen kommen bei uns oft vor.

AAR-Schäden in der Schweiz

In der Schweiz wird Beton zum weitaus grössten Teil noch mit Zuschlagstoffen aus alluvialen Rundkiesen und -sanden produziert, die eine heterogene petrographische Zusammensetzung aufweisen. Dieses Alluvialkies kann auch AAR-gefährdete Komponenten enthalten, wie sie in Bild 3 aufgeführt sind, und kann somit zu unerwünschten Reaktionen führen. Berichte über Schäden in der Schweiz, die nachweislich auf eine AAR zurückzuführen sind, wurden bis anhin nur wenige publiziert [2–5]. Ein Grund für den geringen Bekanntheitsgrad solcher Schäden liegt auch oft in der falschen Diagnose der Betonuntersuchungen. Häufig werden AAR-Schäden als reine Frostschäden interpretiert, die aber im Schadenverlauf als sekundäre Erscheinung auf-

Gestein	Mineral
Plutonite	
Granit	Deformierter Quarz undulös auslöschend, verwitterter Feldspat mit Rissen
Granodiorit	
Vulkanite	
Rhyolit, Dacit, Andesit	Vorkommen von teilweise bis vollständig kristallisierten (sauren und basischen) Gläsern; Tridymit; Kristobalit; Opal
Trachitandesit, Basalt	
Obsidian, Vulkanischer Tuff	Vorkommen von mehr oder weniger kristallisierten, SiO ₂ -reichen Gläsern, oft mit Mikrorissen
Metamorphite	
Gneis	Undulös auslöschender Quarz; rekristallisierter Quarz; Risse; verwitterter Feldspat und Glimmer
Schiefer	
Quarzit	Quarz in Verbindung mit quarzitischer und Opal-Matrix; rekristallisierter Quarz in Form von undulös auslöschendem Mikroquarz oder Quarz mit Mikrorissen
Sedimente	
Sand- und Siltstein,	Wenig kristallisierte Kieselsäure-Matrix; Risse;
Quarzit	Opal; mikrokristalliner Quarz
Sandige Karbonate, Kieselkalke	Quarz und silikatische Matrix
Cherts, Silex	Calcedon, Opal
Kalk, Dolomit, dolomitischer Kalk	Opal-ähnliches, diffus verteiltes SiO ₂ in Form von Mikrokrollen oder eventuell mit Sulphiden und Phylliten assoziiert

3

Hauptsächliche Gesteinstypen und Mineralien, die im Zusammenhang mit AAR auftreten können (ergänzt nach [1])

treten. Weitere Gründe, warum AAR-Schäden vermehrt beobachtet werden können, sind:

- Erhöhte Zementmengen (gegenüber den früher üblichen 300 kg/m³ Beton)
- Erhöhter Alkaligehalt einzelner Zemente (im Vergleich zu früher)
- Einsatz von Alternativrohstoffen (z.B. gebrochenen Zuschlagstoffen)

Typische AAR-Rissmuster sind auf Bild 4 bis 6 erkennbar. Bei den verwendeten Zuschlagstoffen dieser Betonkonstruktionen handelt es sich um Alluvialkiese, wie sie üblicherweise eingesetzt werden. Betonschäden infolge AAR konnten bis anhin in den meisten Regionen der Schweiz nachgewiesen werden.

Sicherheit und Instandsetzung von AAR-geschädigten Bauwerken

Die AAR führt zur Abnahme der mechanischen Festigkeiten. Die Risse ermöglichen zudem das Eindringen von Feuchtigkeit, so dass Folgeschäden unvermeidlich sind (Frost-, Frost-Tausalz, Korrosion der Armierungen, Ausblühungen usw.). In den meisten Fällen stellen AAR-geschädigte Bauwerke hinsichtlich ihrer statischen Funktion kein ernstes Sicherheitsproblem dar. Die Hauptgefahr bei AAR sind jedoch mögliche Abplatzungen. In unarmierten Betonteilen können bis zu einem Meter grosse Betonplatten abfallen, die ein Sicherheitsproblem darstellen. Die Risse an der Betonoberfläche können zu einem ästhetischen Problem werden (z.B. bei Prestigebauten, Schwimmbädern usw.). Oft sind es der Verlauf und die Art der Folgeschäden, die die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit der Bauwerke bestimmen. Es sind weltweit keine Bauwerke bekannt, die infolge der AAR kollabiert wären. Hingegen wurden Bauwerke mit AAR bereits nach wenigen Jahren abgerissen und neu gebaut. Gewisse AAR-geschädigte Bauwerke müssen jedoch auf ihre Funktionstüchtigkeit hin untersucht werden (z.B. Lawinen- und Steinschlaggalerien, Erdbebensicherheit usw.). Es ist aber notwendig, dass AAR-befallene Bauwerke regelmässig kontrolliert werden und der Schadensverlauf überwacht wird. Zurzeit wird mit dem Tiefbauamt des Kantons Bern (Oberingenieurkreis I) ein AAR-Massnahmenkatalog ausgearbeitet, in dem ausgehend von einem AAR-Schadensinventar diejenigen Bauwerke eruiert werden, die ein Sicherheitsproblem darstellen können. Die Funktionstüchtigkeit dieser Bauwerke wird im Detail abgeklärt (vgl. z.B. Galerie in Bild 4). Zudem sollen geeignete Überwachungsmethoden und Instandsetzungsmöglichkeiten evaluiert werden.

Eine Instandsetzung von AAR-geschädigten Bauwerken ist in der Regel sehr aufwendig und nur selten erfolgreich. Versuche, rissgeschädigte Betonoberflächen mit Schutzanstrichen (z.B. auf Basis von Silan, Siloxan, Acryl, Silicon) oder Imprägnierungsmitteln (z.B. Epoxidharz) vor eindringender Feuchtigkeit oder Wasser zu schützen, haben gezeigt, dass eine fortschreitende AAR nur selten unterbunden werden kann. Einen gewissen Erfolg verspricht man sich von Imprägnierungsprodukten auf Lithiumbasis. In einigen Fällen wurde auch versucht, mit rein baulichen Massnahmen (z.B. Schutzfo-



4

Galerie Kt. Bern: typisches AAR-Rissmuster mit Kalkablagerungen



5

Stützmauer Kt. Wallis: AAR-Risse, die im wetterexponierten Bereich gut erkennbar sind



6

Stützmauer Kt. Graubünden: AAR-Risse im oberen Teil der Mauer mit deutlichen Kalkausblühungen

lie) die Wasserzufuhr in den Beton zu unterbinden. Üblicherweise erfolgt eine Instandsetzung, indem die geschädigten Betonteile entfernt und durch AAR-beständige Betonsysteme ersetzt werden.

Normen

Im Gegensatz zu den angrenzenden Nachbarländern besitzt die Schweiz keine Normen, Empfehlungen oder Richtlinien zum Thema AAR. Nach dem heutigen Wissensstand können verschiedene vorbeugende Massnahmen ergriffen werden, um eine AAR zu verhindern:

- Limitierung des Alkaligehalts der Betonmischung
- Einsatz von Kompositzementen und/oder Zusatzstoffen (Flugasche, Mikrosilika, Hüttensande, puzzolanische Stoffe)
- Verhinderung von Wasserkontakt bzw. Durchfeuchtung des Betons durch bauliche Massnahmen
- Vermeidung von AAR-gefährdeten Zuschlägen

Der Austausch von potentiell AAR-gefährdeten Zuschlägen wird zwar in den Normen aufgeführt, in der Praxis aber aus ökologischen oder ökonomischen Gründen kaum durchgeführt. Ein Beton für höchste Ansprüche und ohne zu befürchtende AAR-Schäden kann auch mit AAR-gefährdeten Zuschlägen erreicht werden, indem jeweils die richtigen Massnahmen getroffen werden. Diese wiederum sind abhängig von der Art der Betonkonstruktion, der Wichtigkeit des Bauwerks, den Betonanforderungen, der klimatischen Exposition, der Verfügbarkeit der Betonkomponenten (Zementtyp, Zuschläge, Wasser usw.) und letztlich auch von wirtschaftlichen Kriterien.

Empfehlung für die Bauherrschaft und Projektierende zur Vermeidung von AAR-Schäden

Auch bei der AAR-Problematik gilt: vorbeugen ist besser als heilen. Wie bereits erwähnt, gibt es zahlreiche ausländische Normen, Empfehlungen und Richtlinien zum Thema AAR. Jedes Land hat in Abhängigkeit seiner klimatischen Bedingungen, mineralischen Rohstofftypen bzw. -mengen und Betonanforderungen eigene Vorschriften erlassen. In der Schweiz besteht diesbezüglich ein Handlungsbedarf. Trotzdem musste die AAR-Problematik in der Schweiz aber bereits für verschiedene Bauwerke angegangen werden. Im Folgenden wird deshalb ein Entscheidungsschema aufgezeichnet, das sich bis anhin gut bewährt hat und als Leitfaden empfohlen werden kann. Der erste Schritt, der im Zusammenhang mit der AAR-Prävention zu tätigen ist, ist das Erstellen einer Risikomatrix.

AAR-Risikomatrix

Es ist zukünftig unabdingbar, dass Bauherrschaft und Projektierende für geplante Betonbauten zusammen mit Experten eine AAR-Risikomatrix entwerfen. Diese basiert auf der Bauwerkskategorie, der AAR-Reaktivität der Zuschläge und der klimatischen Exposition dieser Bauwerke. Die Bewertungsmatrix erlaubt es dann, die AAR-Präventionsstufe zu definieren und die notwendigen konstruktiven und betontechnologischen Massnahmen zu treffen. In die Klasse der höchsten Präventionsstufe gehören Bauwerke, bei denen ein

Risiko betreffend AAR-Schäden inakzeptabel ist:

- Wasserkraftwerke (insb. Staudämme), Atomkraftwerke
- Untertagebauwerke (insb. Tunnelkonstruktionen)
- Brücken, Viadukte, Galerien
- Prestigebauten, öffentliche Bauten (z.B. Schwimmbäder)

AAR-Untersuchungsschema

Ein Untersuchungsschema zur Abklärung der AAR-Risiken, das sich bis anhin für die schweizerischen Verhältnisse gut bewährt hat, ist in Bild 7 aufgeführt.

Die Untersuchungsreihe besteht aus einem modular zusammengesetzten Prüfungssystem, das erlaubt, die Analysen abubrechen, sobald zuverlässige Resultate vorliegen. Weitere wichtige Kriterien für die Auswahl dieser Prüfungen waren eine kurze Analysezeit und möglichst tiefe Kosten. Mit dieser Untersuchungsreihe ist es möglich, bereits innerhalb weniger Tage zuverlässige Aussagen zur AAR-Gefährdung der Betonzuschlagstoffe zu erhalten und so die notwendigen Massnahmen zu treffen.

Makroskopische und Mikroskopische Petrographieanalyse

Ziel: Erkennung und Bestimmung der potentiell AAR-gefährdeten und betonschädlichen Gesteine bzw. Mineralien.

Durchführung: Makroskopische Beurteilung und falls nötig mikroskopische Untersuchungen mittels Dünnschliffanalysen.

Prüfdauer: Diese mineralogisch-petrographischen Untersuchungen können innerhalb von 1 bis 3 Tagen durchgeführt werden und bilden die Entscheidungsgrundlage für das weitere Vorgehen.

Bemerkung: Petrographie-Analysen weisen eine hohe Zuverlässigkeit der Ergebnisse auf, sofern sie von Geologen (Mineralogen/Petrographen) durchgeführt werden, die in der AAR-Thematik Erfahrung haben.

Mikrobarprüfung [6]

Ziel: Erkennung von potentiell AAR-gefährdeten Gesteinsmaterialien.

Durchführung: Expansionsmessungen von Mörtelproben mit den vorgesehenen Zuschlägen in einem alkalischen Milieu.

Prüfdauer: 4 Tage

Bemerkung: Nach nur rund sieben Tagen stehen fundierte Aussagen aufgrund der Petrographieanalyse und des Mikrobar-tests zur Verfügung, die eine Beurteilung der AAR-Reaktivität in «nicht reaktiv», «potentiell reaktiv» und «reaktiv mit Pessimum-Effekt» erlauben.

Alkalibilanz

Ziel: Bestimmung bzw. Schätzung des Gehalts an löslichen Alkalien im Betongemisch, die für eine mögliche AAR zur Verfügung stehen.

Durchführung: Damit eine genaue Alkalibilanz im Betongemisch errechnet werden kann, muss der Anteil an freien Alkalien sämtlicher Bestandteile des Betons (Zement, Zuschlagstoffe, Zusatzstoffe, Zusatzmittel, Mischwasser) bekannt sein. Die Bestimmung der lösl-

chen Alkalien sämtlicher Bestandteile im Beton kann aus Zeit- und Wirtschaftlichkeitsgründen oft nicht durchgeführt werden. Da aber der Anteil an freien Alkalien im Beton zum weitaus grössten Teil (über 80%) vom Zement stammt, kann bereits eine grobe Abschätzung der Alkalibilanz aufgrund der bekannten, freien Alkalimenge des Portlandzementes durchgeführt werden.

Prüfdauer: 1 Tag

Bemerkung: Diese Abschätzung zeigt, ob der empfohlene Alkali-Grenzwert-Bereich (rund 3 kg pro m³ Beton) deutlich über- bzw. unterschritten wird. Falls der Grenzwertbereich deutlich überschritten wird, müssen eine Anpassung der Betonrezeptur und der Performance-Test durchgeführt werden.

Der Performance-Test [7]

Ziel: Beurteilung, ob eine Betonmischung mit AA-reaktiven Zuschlägen resistent gegenüber AAR-Angriff ist oder nicht.

Durchführung: Herstellung von Betonproben mit den Originalbestandteilen gemäss der vorgesehenen Betonrezeptur. Auch bei dieser Prüfung wird analog der Mikrobarprüfung die Expansion der Prüflinge ermittelt.

Prüfdauer: 3 bis 5 Monate

Bemerkung: Es handelt sich somit um eine Langzeitprüfung, die sich eher als Abschlussprüfung eignet.

Empfehlungen an die Betonindustrie

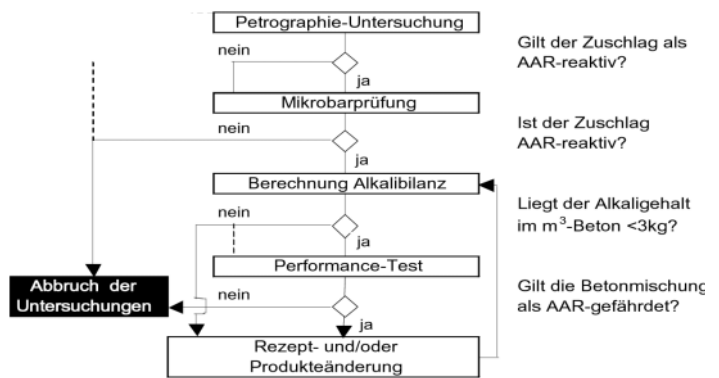
Wie bereits erwähnt, beeinflussen verschiedene Faktoren die AAR (Bild 1). Produkteanbieter der Betonindustrie (Zement, Zuschlagstoffe, Zusatzstoffe, Zusatzmittel) werden sich zukünftig vermehrt mit der AAR-Problematik auseinandersetzen müssen. Es ist wichtig, dass jeder Hersteller die AAR-Empfindlichkeit seiner Produkte kennt und regelmässig überprüft. Insbesondere gilt es für die Zement-, Zusatzstoff- und Zusatzmittelindustrie, die Gehalte an freien Alkalien und Silikaten ihrer Produkte zu überwachen und in der Produktedeklaration anzugeben. Kieslieferanten müssen in der Lage sein, Angaben bezüglich der AAR-Gefährdung ihrer Zuschlagstoffe machen zu können.

Aktuelle Beispiele aus der Praxis

Im Folgenden werden zwei Beispiele aus der Praxis vorgestellt, bei welchen AAR-resistente Betonsysteme verlangt werden.

Kunstabauten im Berner Oberland

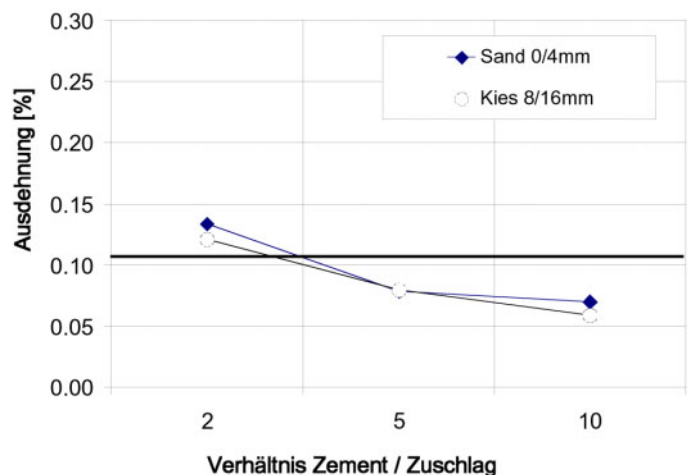
Sensibilisiert durch die zunehmende Anzahl der diagnostizierten AAR-Schäden im Berner Oberland, hat sich die Projektleitung (Oberingenieurkreis I, Thun) kurzfristig entschlossen, die Betonsysteme des Projekts «Korrektion Dangelstutz» hinsichtlich der AAR-Gefährdung zu untersuchen. Dieses Vorgehen erwies sich als richtig, da die auszuführenden Betonkonstruktionen der höchsten AAR-Präventionsstufe zugeordnet werden. Da die Betonarbeiten kurz vor der Ausführung standen, mussten die AAR-Untersuchungen unter grossem Zeitdruck erfolgen. Die Untersuchungen wurden gemäss dem Untersuchungsschema von Bild 7 durchgeführt.



7

AAR-Untersuchungsreihe

Die Petrographie-Analyse wurde nach wenigen Tagen abgeschlossen und führte zum Resultat, dass die Zuschläge als AAR-gefährdet eingestuft werden müssen. Die Mikrobarprüfung mit den vorgesehenen Zuschlagstoffen wurde unmittelbar ausgelöst, so dass nach sechs Arbeitstagen die ersten Ergebnisse vorlagen. Auch die Mikrobar-Untersuchung ergab, dass die geprüften Zuschlagstofffraktionen (Sand 0/4 und Kies 8/16 mm) als potentiell AAR-gefährdet gelten. Gemäss der Norm AFNOR ist der Grenzwert für nicht reaktive Zuschlagstoffe auf eine Längenausdehnung von kleiner 0,11% festgelegt (Bild 8).



8

Mikrobarprüfung der untersuchten Zuschlagstoffe. Die Bestimmung der Reaktivität erfolgt aufgrund der Längenausdehnung. Zuschläge, die bei allen Zement-/Zuschlagstoff-Verhältnissen eine Längenausdehnung < 0,11 aufweisen, gelten als nicht reaktiv

Eine Bestimmung der Alkalibilanz unter Berücksichtigung sämtlicher Bestandteile des Betons (Zement, Zuschlagstoffe, Zusatzstoffe, Zusatzmittel, Mischwasser) war in Anbetracht der drängenden Zeit nicht möglich. Aus diesem Grund wurde die Alkalibilanz über den vom Hersteller angegebenen, freien Alkaligehalt des Zementes ermittelt. Die vorgesehene Spritzbetonmischung beinhaltete 450 kg und der frostbeständige Beton 325 kg Zement (CEM II/A-L 32.5R). Die Schätzung des freien Alkaligehaltes zeigte, dass insbesondere für den Spritzbeton der empfohlene Alkali-Grenzwertbereich nicht eingehalten werden konnte.

Um keine Verzögerung der Arbeiten in Kauf nehmen zu müssen und trotzdem möglichen AAR-Schäden entgegenzuwirken, wurde beschlossen, die Betonrezepturen abzuändern mit dem Ziel, den Gehalt an freien Alkalien zu senken. Dies wurde erreicht, indem ein Teil des Zementes durch Flugasche ersetzt wurde. Beim Spritzbeton wurde der Zement bis zu 20% und beim Ort beton bis zu 15% durch Flugasche ersetzt. Diese Massnahme konnte rasch durchgeführt werden, da das Betonwerk bereits ein Silo mit Flugasche besass. Der empfohlene Alkali-Grenzwert-Bereich konnte mit dieser Massnahme für die Betons eingehalten werden.

Um sicher zu sein, dass die modifizierten Betonmischungen tatsächlich als AAR-resistent gelten, wurde als abschliessende Prüfung der Performance-Test durchgeführt, der nach fünf Monaten Messzeit mit einer Expansionsrate von 0,004% deutlich unter dem Grenzwert von 0,02% lag.

Die Umstellung der Betonsysteme mit Flugaschezusätzen konnte ohne grössere Probleme durchgeführt werden. Der Einsatz von Flugasche führte aber zu einer langsameren Frühfestigkeitsentwicklung, so dass die meisten Festbetoneigenschaften im Gegensatz zu den bekannten 28-Tage-Werten erst nach etwa 90 Tagen vergleichbare Resultate aufwiesen.

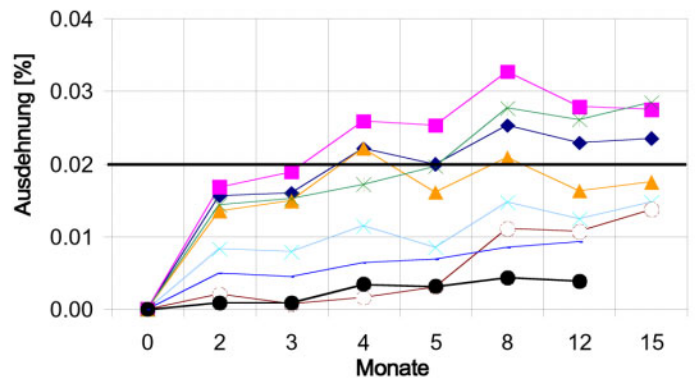
In der Praxis erwies sich der Einsatz der Flugasche als optimal. Die Einschränkungen bezüglich der Festigkeitsentwicklung waren minimal, das Resultat bezüglich der AAR-Resistenz war sehr gut.

Spritzbeton AlpTransit Lötschberg

An die Betonsysteme der AlpTransit-Bauten werden hohe Anforderungen bezüglich der Dauerhaftigkeit gestellt. Die Bauherrschaft verlangt einen dauerhaften Beton, der eine Funktionstüchtigkeit von mindestens 100 Jahren gewährleistet. Eine bekannte Zementfirma hat aus Eigeninitiative und basierend auf unterschiedlichen Zementtypen verschiedene Spritzbetonmischungen, die für den Lötschberg-Basistunnel Nord infrage kommen, hinsichtlich ihrer AAR-Beständigkeit untersuchen lassen. Die AAR-Analysen erfolgten gemäss der Untersuchungsreihe in Bild 7.

Die für diese Untersuchungen eingesetzten Zuschlagstoffe wurden aus geeignetem Tunnelausbruchmaterial hergestellt, das mengenmässig aus einer wichtigen Felsstrecke des AlpTransit-Nord-Vortriebs stammt.

Sowohl die petrographisch-mineralogischen Untersuchungen als auch der Mikrobartest haben ergeben, dass diese Zuschlagstoffe als potentiell AAR-gefährdet ein-



gestuft werden müssen. Für die weitergehenden Performance-Prüfungen standen folgende Zementtypen zur Verfügung: CEM I 42.5; CEM I 42.5 HS; CEM II/A-L 32.5 R und CT 180. Letzterer entspricht einem CEM II/A-M 52.5, bestehend aus 10% Kalkstein und 6% bzw. 8% Mikrosilika. Zusätzlich zu diesen Zementtypen wurden noch Zemente (CEM I 42.5 und CT 180) kombiniert mit Flugaschezusatz untersucht. Die Expansionswerte der Performance-Prüfungen in Bild 9 zeigen, dass die Mischungen aus reinem CEM I hinsichtlich der AAR-Resistenz am schlechtesten abschnitten.

Um das Langzeitverhalten zu beobachten, wurden diese Prüfungen über 12 Monate gemessen (gem. Norm nur 5 Monate). Aus Bild 9 geht deutlich hervor, dass der CT 180 mit 8% Mikrosilika die tiefsten Expansionswerte aufzeigt. Unterhalb des Grenzwertes liegen auch folgende Mischungen: CT 180 mit 6% Mikrosilika und 20% Flugasche; CEM I 42.5 mit 30% Flugasche; CT 180 mit 6% Mikrosilika.

Zusammenfassung

Betonschäden infolge Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) kommen nachweislich auch vermehrt in der Schweiz vor. Für wichtige Betonbauwerke ist es deshalb nötig, die AAR-Empfindlichkeit der Zuschlagstoffe bzw. der Betonmischung abzuklären. Da die Schweiz keine entsprechenden Normen zum Thema AAR aufweist, empfiehlt es sich, das in diesem Artikel vorgestellte AAR-Untersuchungsprogramm anzuwenden. Das Konzept dieser Untersuchungsreihe basiert im Wesentlichen auf Prüfungen der französischen Normen, die sich gut für Gesteine im schweizerischen Raum eignen. Zudem wurde darauf geachtet, dass diese Prüfungen in möglichst kurzer Zeit, d.h. innerhalb von wenigen Tagen, zuverlässige Resultate liefern und die Untersuchungskosten im Gegensatz zu möglichen AAR-Sanierungskosten tief gehalten werden können.

Die hier aufgeführten Beispiele aus der Praxis zeigen, dass das Thema AAR ernst genommen werden muss. Zudem wird anhand dieser Beispiele deutlich, dass auch mit AAR-gefährdeten Zuschlagstoffen Betonmischungen entworfen werden können, die sowohl eine hohe AAR-Beständigkeit aufweisen als auch die geforderten Betoneigenschaften erfüllen.

- ◆ CEM I 42.5
- ▲ CEM II/A-L 32.5 R
- ✕ CEM I 42.5 + 20% Flugasche
- CT 180/8
- CEM I 42.5 HS
- ✕ CT 180/6
- CT 180/6 + 20% Flugasche
- ◆ CEM I 42.5 + 30% Flugasche

9

AAR-Performance-Prüfung (ohne Alkalizusatz) mit verschiedenen Zementtypen: Betonmischungen mit einer Expansion unter 0,02% nach 5 Monaten gelten als nicht AAR-gefährdet

Schlussbemerkung

Es besteht die Gefahr, dass in Sachen AAR-Problematik überempfindlich reagiert wird und die Projektierenden für alle Betonkonstruktionen ausschliesslich AAR-beständige Betone fordern. Ein ähnliches Verhalten konnte z.B. bei der Frost-Tausalz-Problematik Anfang der 70er Jahre beobachtet werden. Es brauchte eine gewisse Zeit, bis Frost-Tausalz-beständige Betons nur noch dort eingesetzt wurden, wo es auch sinnvoll war. Es ist deshalb wichtig, die AAR-Problematik mit dem Erstellen einer Risikomatrix anzugehen, damit falls nötig die geeigneten AAR-Präventionsmassnahmen getroffen werden können. Sensibilisiert durch die steigende Anzahl der AAR-Schäden, verlangen bereits heute einige Kantonsingenieure (Kt. BE, VS, VD) einen Nachweis der AAR-Beständigkeit der vorgesehenen Betonsysteme für Bauten mit hoher AAR-Präventionsstufe.

Die AAR-Mechanismen sind wissenschaftlich noch nicht abschliessend erklärbar. Es besteht weltweit ein Handlungsbedarf, die AAR besser zu verstehen. Unterschiedliche Meinungen herrschen z.B. bezüglich der notwendigen Umgebungsfuchtigkeit zur Auslösung der AAR. Handlungsbedarf besteht auch hinsichtlich Richtlinien und Empfehlungen für die Schweiz, damit das Vorgehen für AAR-Untersuchungen vereinheitlicht wird. Bis es aber soweit ist, empfehlen wir, das hier vorgestellte Verfahren zur Ermittlung der AAR-Gefährdung anzuwenden.

Gerhard Rytz, Chemiker, Dr. phil. nat., Kurt Strahm, Marketingleiter, Ciment Vigier SA, 2603 Péry, Cédric Thalmann, Ingenieur-geologe, Dr. sc. nat. ETHZ, B-I-G Büro für Ingenieur-geologie, Gurtenbrauerei, 3084 Wabern, Christian Wyss, Geologe, lic. phil. nat., TransGeo, Dorfstrasse, 3084 Wabern, Jürg Zingg, Projektleitender Bauingenieur, Tiefbauamt Kt. Bern, Oberingenieurkreis I, Schlossberg 20, 3601 Thun

Literatur

- 1 LCPC (1994): Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction. Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transport, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris.
- 2 Hammerschlag J.-G. et Regamey J.-M. (1995): Barrage de L'Ilsee – assainissement. Research and development in the field of dams, Proceedings, September 1995, Crans-Montana, Switzerland.
- 3 Leemann A., Thalmann C. und Kruse M., (1999): Gebrochene Zuschlagstoffe – Ergänzende Prüfungen zu den bestehenden Beton-Normen – Erfahrungen bei AlpTransit Gotthard. Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 24, 1999.
- 4 Thalmann C. und Wyss Ch. (2000): Betonzuschlagstoffe, die eine Alkali-Aggregat-Reaktion auslösen können – Empfehlungen an die Schweizerische Kies- und Betonindustrie. Die Schweizer Baustoff-Industrie 4/2000.
- 5 TFB-Cementbulletin (2000): Alkali-Aggregat-Reaktion, Teil 1 in Nr. 5/68 (Mai 2000) und Teil 2 in Nr. 9/68 (September 2000).
- 6 AFNOR P18-588 (1991): Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin – Essai accéléré sur mortier microbar. Association Française de Normalisation, Paris.
- 7 LCPC (1994): Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction, Annexe G: Test de performance d'une formulation de béton vis-à-vis de l'alcali-réaction. Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transport, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris.