

Alkali-Aggregat-Reaktionen (Teil 2)

Microbar-Versuch nach AFNOR P 18-588 zur Bestimmung der AAR-Reaktivität von Zuschlägen: Präzisionsmessung der Ausdehnung von Mikroprismen.



Alkali-Aggregat-Reaktionen (Teil 2)

Nachdem in der Mai-Nummer des «Cementbulletins» allgemeine Aspekte des AAR-Problems behandelt wurden, wird hier auf den Nachweis der AAR-Reaktivität sowie auf das Verhindern von AAR-Schäden eingegangen.

Die Folgen von AAR-Reaktionen sind auf verschiedene Arten sichtbar. Typische AAR-Schäden an Bauwerken sind in den *Abbildungen 2, 5 und 6* illustriert. Eindeutig identifiziert werden können AAR-Schäden nur durch mikroskopische Untersuchungen von Dünnschliffen (siehe *Abbildung 7*).

Nachweis der AAR-Reaktivität

Die detaillierte petrografische Untersuchung gibt Anhaltspunkte, ob ein

Zuschlaggemisch bzw. eine Zuschlagfraktion oder -komponente potenziell Anlass zu AAR geben kann. Wenn keine potenziell AAR-gefährdete Komponenten vorhanden sind, darf der Zuschlag uneingeschränkt eingesetzt werden.

Potenziell AAR-gefährdete Zuschläge erfordern zusätzliche chemische und oder physikalische Untersuchungen. Ziel dieser Tests ist es, Zuschläge bzw. Zuschlagfraktionen in eine der

folgenden Kategorien einzuteilen:

- NR nicht reaktiv
- PR potenziell reaktiv
- PRP potenziell reaktiv mit Pessimum-Wirkung.

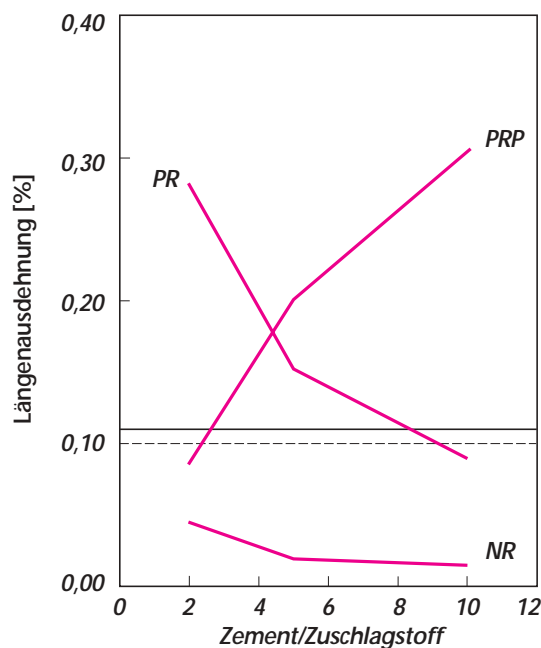


Abb. 1 *Microbar-Versuch nach AFNOR P 18-588: Die Zuordnung der Reaktivität erfolgt auf Grund der Längenausdehnung: Zuschläge, die bei allen drei Zement-/Zuschlagstoff-Verhältnissen eine Längenausdehnung < 0,11 % aufweisen, sind nicht reaktiv (NR).*

Validierungen

In der SN EN ISO 8402 [1] ist Validierung folgendermassen definiert: «Bestätigung aufgrund einer Untersuchung und durch Bereitstellung eines Nachweises, dass die besonderen Forderungen für einen speziellen beabsichtigten Gebrauch erfüllt worden sind.» Unter Nachweis wird dabei eine Information verstanden, «deren Richtigkeit bewiesen werden kann und die auf Tatsachen beruht, welche durch Beobachtung, Messung, Untersuchung oder durch andere Ermittlungsverfahren gewonnen sind».

Konkreter bedeutet dies, dass bei einem Prüfverfahren nachgewiesen wird, dass es sich für die vorgesehenen Aufgaben eignet. Beispielsweise wurde das Microbar-Verfahren für Temperaturen unter 10 °C validiert, indem zuverlässig nachgewiesen wurde, dass Schweizer Zuschlagmaterialien nicht AAR-reaktiv sind, wenn die Längenänderung der damit hergestellten Mikropismen < 0,11 % beträgt.

Längenänderungen von Prismen

Zuverlässige Aussagen über die AAR-Reaktivität von Zuschlägen lassen sich mittels Messungen der Längenänderungen von Mörtel- und Betonproben erhalten. Bewährt hat sich der *Microbar-Versuch* (nach AFNOR P 18-588), der bereits nach fünf Tagen eine eindeutige Einteilung von Kiesen und Sanden in NR, PR oder PRP erlaubt

(*Abbildung 1*). Dieser Test ist für die Schweiz validiert (siehe Kasten «Validierungen»). Zusätzliche Informationen zu diesem Versuch sind in *Tabelle 1* enthalten, in der weitere nützliche Untersuchungsmethoden vorgestellt werden.

Chemische Verfahren

Eine Untersuchung von Sanden und Kiesen basiert auf der französischen Prüfung AFNOR P 18-589. Der Wert dieses Tests liegt darin, dass er sich von den physikalischen Tests unterscheidet. Leider sind die Resultate

Untersuchung	Materialien	Versuch	Kriterium für NR
Microbar-Versuch nach AFNOR P 18-588 (s. Titelbild)	Sand, Kies	Längenänderung von Mikroprismen (1 x 1 x 4 cm) alkalisches Milieu/150 °C (Autoklav) Dauer: 5 Tage	Längenausdehnung < 0,11 % validiert (CH)
Beschleunigter Versuch an Mörteln nach AFNOR P 18-590	Sand, Kies	Längenänderung von Prismen (4 x 4 x 16 cm) Behandlung im Autoklav (127 °C/0,15 MPa) Dauer: 5 Tage	Längenausdehnung < 0,15 % in Validierung
Dimensionsänderung von Betonprismen nach AFNOR P 18-587	Sand, Kies	Längenausdehnung von Prismen (7 x 7 x 28 cm) 8 Monate Lagerung bei 38 °C/100 % r.F. 2 Monate Lagerung bei 60 °C/100 % r.F. Dauer: 8 Monate/2 Monate	Längenausdehnung < 0,04 % / < 0,02 % in Validierung
Beton-Performance-Test für Betonrezepturen mit potenziell reaktiven Zuschlägen	reale Betonrezeptur	Längenausdehnung von Prismen (7 x 7 x 28 cm) Lagerung bei 60 °C/100 % r.F. Dauer: 3–5 Monate	Längenausdehnung < 0,02 %

Tab. 1 Eine Auswahl physikalischer Untersuchungen, die sich für die Abklärung der AAR-Reaktivität von Zuschlagmaterialien eignen.

noch nicht bei allen Schweizer Zuschlägen eindeutig interpretierbar.

Vorbeugen ist besser als Heilen

Die folgenden Bedingungen ermöglichen oder begünstigen das Auftreten von AAR-Schäden:

- reaktive Zuschlagstoffe
- ein hoher Gesamtalkaligehalt in der Mörtel-/Betonmischung
- ein feuchtes Betongefüge (In dicken Bauteilen sinkt die relative Feuchtigkeit kaum unter 70 %;

AAR-Reaktionen treten bevorzugt ab etwa 70 bis 80 % r.F. auf.)

- hohe Betriebstemperaturen
 - ein durchlässiges Betongefüge.
- Dem Alkaligehalt wird vielfach ein zu grosser Stellenwert zugeschrieben. Ein niedriger Gehalt ist zwar nützlich, er bildet aber nur einen Teil der erforderlichen Massnahmen. Diese müssen von Fall zu Fall sorgfältig geplant werden.

AAR-Prüfungen sind dann angezeigt, wenn unklar ist, ob die betreffenden Zuschläge potenziell reaktiv sind. Besondere Vorsichtsmassnahmen sind nicht erforderlich, wenn ein Bauwerk ständig trocken ist.



Abb. 2 Überlagerung von statischen, korrosions- und AAR-bedingten Rissen mit Kalkablagerungen.

Foto: Fritz Hunkeler, TFB

Anders sieht es bei Ingenieurbauwerken aus, die eine hohe Lebensdauer aufweisen sollen und/oder die bei Schäden ein hohes Gefahrenpotenzial haben bzw. deren Versagen grosse Schäden verursachen würde: Bei diesen Bauten sollten

Zuschläge verwendet werden, die AAR-unempfindlich sind. Ein Beispiel hierfür sind Bauteile aus Spritzbeton im Untertagebau, die langfristige Tragfunktionen haben. Vorsicht ist auch bei Bauten geboten, die teilweise oder ständig feucht sind und/oder einer Alkalizufuhr von aussen ausgesetzt sind.

Betone mit PR-Zuschlägen

Aus den bisher beschriebenen Angaben zu AAR lassen sich für das Bauen mit PR-Zuschlägen verschiedene Massnahmen ableiten. In *Abbildung 3* ist ein Vorgehen skizziert, wenn das vorgesehene Zuschlagmaterial möglicherweise reaktiv ist. Der dort erwähnte Performance Test aus Frankreich (siehe *Tabelle 1*) erlaubt es, die AAR-Gefährdung mit der für das Bauwerk vorgesehenen Betonmischung zu überprüfen. Der grosse Nachteil dieses Tests ist die lange Dauer (3–5 Monate).

Bindemittel

Durch den teilweisen Ersatz von Portlandzementklinker durch Hüttensande oder andere Zusatzstoffe kann der Gehalt an aktiven Alkalien vermindert werden. Erfolgreich ein-

gesetzt werden beispielsweise Portlandzemente mit Silicastaub, Flugasche oder Hüttensand alleine oder in Kombination (siehe auch *Abbildung 4*).

Wesentlich bei der Wahl des Bindemittels ist, dass sämtliche Anforderungen an den Beton bestmöglich erreicht werden. Dabei sind Kompromisse oft unumgänglich.

Konstruktive Massnahmen

Zu den konstruktiven Möglichkeiten zum Schutz vor AAR-Schäden gehören:

- Feuchtigkeit Zutritt durch Drainage oder Abdichtungssysteme verhindern
- hohe Systemdichtigkeit durch geeignete Fugenkonstruktion
- derart bemessen, dass allfällige Risse günstig verteilt werden.

Hohe Druckspannungen in allen drei Hauptspannungsebenen im Beton (konventionelle Bewehrung, Vorspannung) helfen, AAR-Schäden zu vermeiden. Unabhängig von all diesen Massnahmen ist selbstverständlich auch auf eine sorgfältige Ausführung zu achten. So sollte der Beton gut verarbeitbar sein und ohne Entmischungen eingebaut werden. Neben der günstigen Wahl der Arbeitsfugen darf auch die Nachbehandlung nicht vernachlässigt werden.

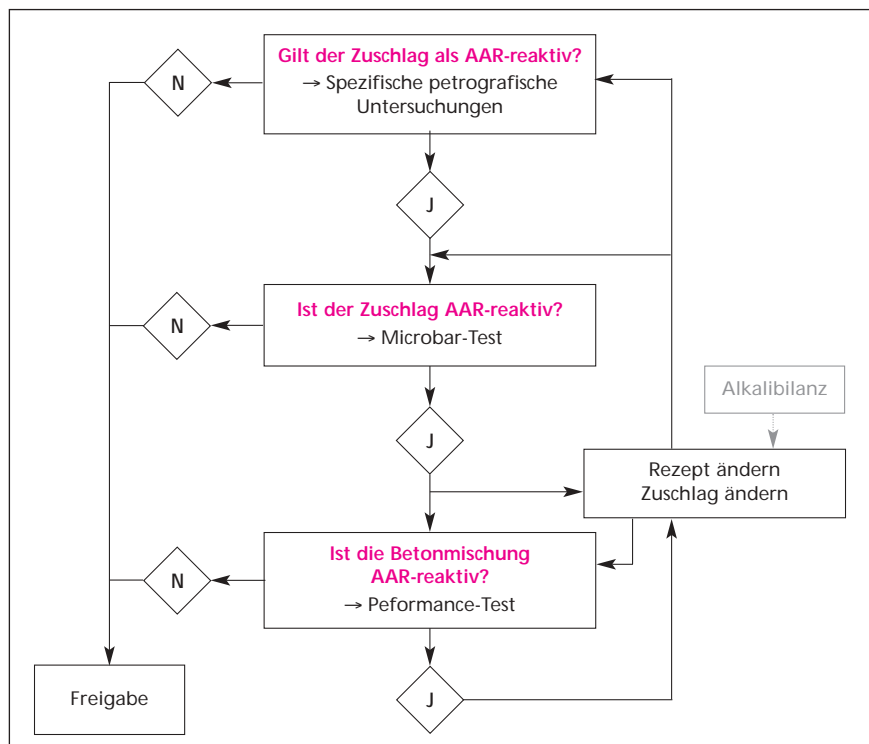


Abb. 3 Mögliches Vorgehen bei der Abklärung, ob ein Zuschlag für eine bestimmte Anwendung freigegeben werden kann.

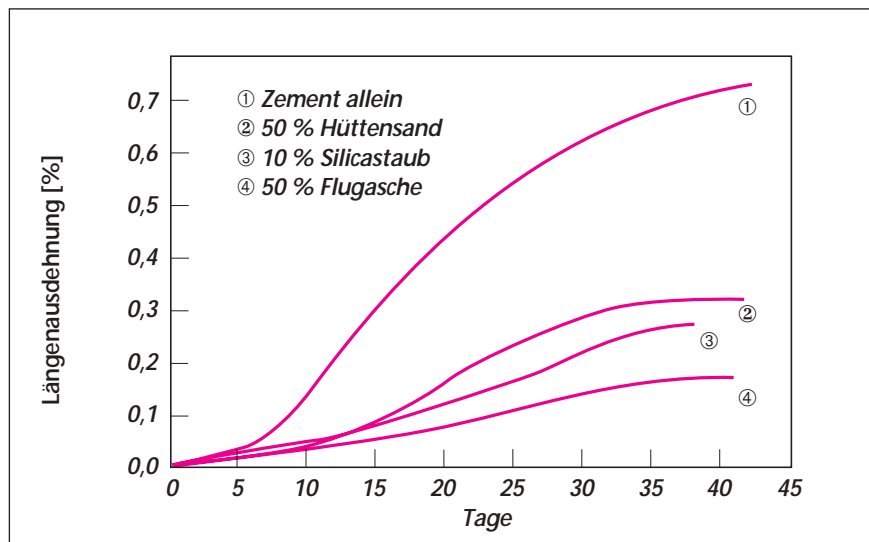


Abb. 4 Längenausdehnung von Betonprismen (75 x 75 x 300 mm), die AAR-reaktive Zuschläge enthalten, in denen Zement (1 Massen-% Na_2O -Äq.) teilweise durch Hüttensand, Silicastaub bzw. Flugasche ersetzt wurde (nach [2]).

AAR-Schäden an bestehenden Bauten

Erfahrene Fachleute, die entsprechend geschult sind, können AAR-Schäden an einem Bauwerk erkennen. Dennoch sollten an repräsentativen Stellen Bohrkerne für die folgenden Untersuchungen entnommen werden:

- petrografische Untersuchungen (Dünnschliff-Mikroskopie, evtl. weitere Verfahren wie Elektronenmikroskopie, Mikrosonde, Röntgendiffraktometrie oder IR-Spektrografie)
- chemische Zusammensetzung des Betons (Gehalt an gelösten Silikaten, Alkalien und Sulfaten)
- in Bezug auf AAR relevante physikalische Eigenschaften des Betons (z. B. Spaltzug-, Biegezug- und Druckfestigkeit)
- AAR-Schnellprüfungen an herauspräparierten Zuschlägen.

Eine weitere Untersuchungsmöglichkeit besteht darin, die Bohrkern direkt für Langzeitversuche (Dauer: 6 bis mehr als 12 Monate) einzusetzen. Dies erlaubt eine Prognose bezüglich des weiteren Verlaufs der AAR. (Häufig wird beobachtet,

dass das System nach einer gewissen Zeit einen stationären Zustand erreicht, bei dem das Schadenmass und die Schadenintensität nicht mehr weiter zunehmen.) Diese Untersuchungen liefern dem Ingenieur die notwendigen Hinweise für die einzuleitenden Massnahmen. Wenn ein AAR-Gefährdungspoten-



Abb. 5 Überlagerung von statischen, korrosions- und AAR-bedingten Rissen mit Kalkablagerungen. Foto: Fritz Hunkeler, TFB

zial vorliegt, muss dies beim Überwachungs- und beim Unterhaltsplan nach Norm SIA 469 [3] oder Empfehlung SIA 162/5 [4] berücksichtigt werden.

In einem Frühstadium kann es ausreichen, den Beton vor Nässe zu schützen (Beschichtungen), um so eine der unerlässlichen Voraussetzungen für AAR – die Feuchtigkeit – auszuschliessen und die Reaktion zu stoppen. Dabei muss darauf geachtet werden, dass sich im Innern des Betons keine Feuchtigkeit «staut».

Die isländische Lösung

Im Vergleich zur Schweiz sind in Island die Voraussetzungen für das Auftreten von AAR besonders günstig: Der Zement enthält rund

LITERATUR

- [1] SN EN ISO 8402: «Qualitätsmanagement – Begriffe (ISO 8402: 1994)» (Ausgabe 1995).
- [2] Swami, R. N. (Ed.), «The alkali-silica reaction in concrete», Blackie and Son Ltd, Glasgow, 336 Seiten (1992).
- [3] Norm SIA 469: «Erhaltung von Bauwerken» (Ausgabe 1997).

- [4] Empfehlung SIA 162/5: «Erhaltung von Betontragwerken» (Ausgabe 1997).
- [5] Gudmundsson, G., und Olafson, H., «Alkali-silica reaction and silica fume – 20 years of experience in Iceland», Cement and Concrete Research 29, 1289–1297 (1999).

1,65 Massen-% Na_2O -Äq., die Zuschläge sind teilweise vulkanischen Ursprungs, und das Klima ist sehr feucht.

Bei grösseren Bauwerken werden deshalb seit Jahrzehnten Vorkehrungen zum Schutz vor AAR getroffen: Der Zement wird teilweise durch Puzzolane ersetzt, und es werden nicht reaktive Zuschläge verwendet. Bei Wohnhäusern verzichtete man lange auf diese Massnahmen. Als Folge davon traten zahlreiche AAR-Schäden auf.

Wohnbauten, die während den letzten 20 Jahren erstellt wurden, weisen keine AAR-Schäden mehr auf. Erreicht wurde dies durch die folgenden Massnahmen [5]:



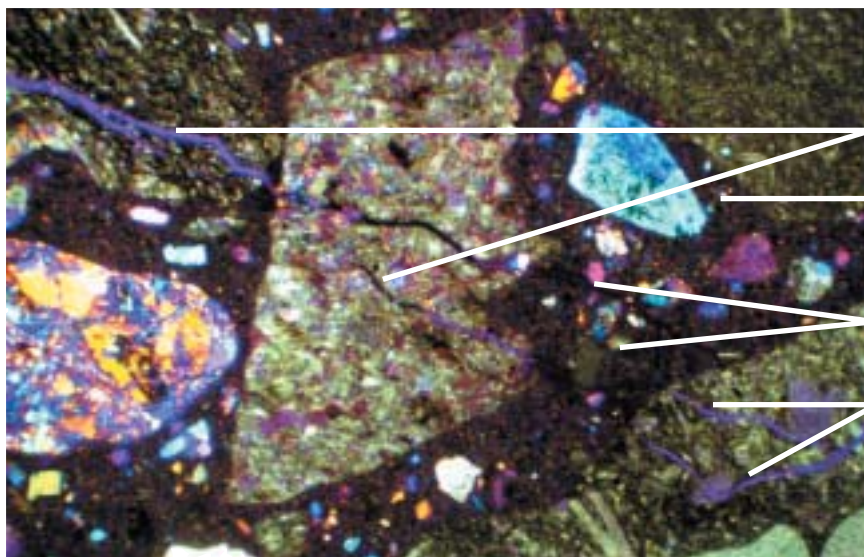
Abb. 6 AAR-Schaden in Krone von Staumauer. Die Risse enthalten (dunkles) Kieselgel.

Foto: TFB Nyon

- Der verwendete Zement enthält 7,5 % Silicastaub.
- Die Anforderungen an die Zuschläge wurden erhöht.
- Zuschlagmaterial, das aus dem Meer gewonnen wird, wird gewaschen.

- Die Menge des eingesetzten reaktiven Materials ist beschränkt.

*Christine Merz, TFB Wildegg, und
Jean-Gabriel Hammerschlag,
TFB Nyon*



- Risse
- erhärteter Zementstein
- Mikrorisse mit Kieselgel
- Risse

Abb. 7 AAR-geschädigter Beton (mikroskopische Untersuchung eines Dünnschliffs im polarisierten Licht).

Foto: TFB Nyon