

Alkali-Aggregat-Reaktion

Autor(en): **Merz, Christine / Hunkeler, Fritz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **135 (2009)**

Heft 21: **Opus caementitium**

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-108274>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

ALKALI-AGGREGAT-REAKTION

Seit Jahrzehnten ist dieser weit verbreitete und doch ungewöhnliche Schadensmechanismus an unseren Betonbauwerken bekannt. Trotzdem liegen noch wenige Erfahrungen über die Entwicklung der Schäden vor. Ein aktuelles Forschungsprojekt zeigt, dass die Gefährdung in den nächsten Jahrzehnten aufgrund der Altersstruktur der Bauten grösser wird. Durch die zunehmende Verwendung von Recyclingbeton können auch neue Mechanismen auftreten.

In den letzten Jahren wurden in der Schweiz an älteren Betonbauten immer häufiger netzartige Risse beobachtet (Abb. 6, 7 und 8). Die Untersuchung der Rissursachen zeigt, dass diese Risse sich allmählich, über Jahrzehnte hinweg, unabhängig von der statischen Beanspruchung der Bauteile entwickeln. Sie entstehen durch Gesteinskörner, die mit dem Porenwasser im Beton reagieren. Dabei bildet sich ein Gel, das durch Feuchtigkeitsaufnahme aufquillt und Risse im Beton verursacht. Dieser Schadensmechanismus wird als Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR), in Deutschland als Alkali-Kieselsäure-Reaktion bekannt, bezeichnet.

SCHADENURSACHEN

Im Mittelland treten AAR-Schäden eher selten auf, die Voralpen und die Alpengebiete sind stärker betroffen (Abb. 3). Dies hängt unter anderem damit zusammen, dass in diesen Gegenden empfindlichere Gesteinskörnungen vorkommen und für die Betonherstellung verwendet werden. Solche «reaktiven» Gesteinskörner sind beispielsweise Kieselkalke und Gneise. Damit sich die Reaktion entwickeln kann, braucht es zudem Alkalien im Beton. Sie stammen vorwiegend aus dem Zement; andere Quellen, wie etwa Streusalze, sind aber ebenfalls möglich. Der dritte wichtige Faktor für die Entwicklung einer AAR ist die Feuchtigkeit. Trockene Bauteile bleiben verschont, während derselbe Beton in exponierten, durchfeuchteten Bauteilen Schäden aufweist.

SCHADENENTWICKLUNG

Die Schadenentwicklung lässt sich anhand der Risse und der Ausdehnungen des Betons verfolgen. Schweizer Betone zeigen in der Regel einen sehr langsamen Schadenverlauf mit jährlichen Zunahmen der Rissöffnungen von 0.01 bis 0.03 mm. Es vergehen deshalb oft 20 Jahre, bis die typischen Rissbilder von blossen Auge deutlich erkennbar sind. Wie eine Studie der TFB (Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton) im Auftrag des Bundesamtes für Strassen (Astra) zeigte, weisen nur ca. 10–20 % von über 400 untersuchten Bauwerken eine schnelle Schadenentwicklung auf (Abb. 4 und 5). Die meisten Bauwerke in der Schweiz mit AAR-Schäden sind ca. 40 Jahren alt.¹

SCHADENAUSMASS

Mit fortschreitender Rissbildung verliert der Beton seine Festigkeit und Dichtigkeit. Druckfestigkeitsverluste bis zu einem Drittel der ursprünglichen Werte sind nicht unüblich. Bei Stahlbeton verringert sich die Schutzwirkung des Überdeckungsbetons, und das Korrosionsrisiko der Bewehrung nimmt zu. AAR-Schäden können beträchtliche Ausmasse erreichen, insbesondere bei dicken oder stark exponierten Bauteilen (Abb. 2 und 8).

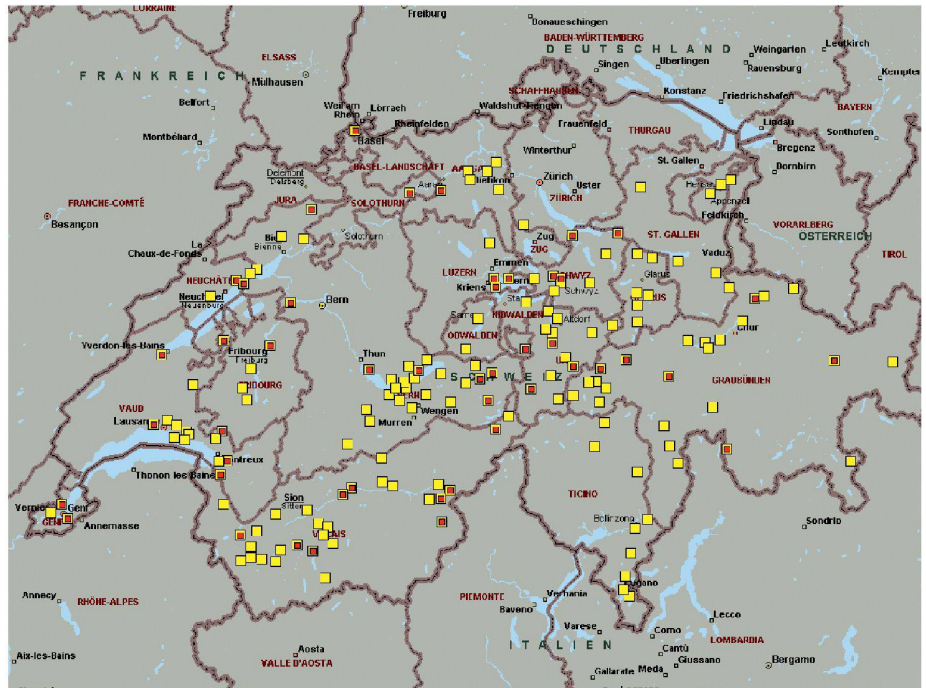
An grossen, wasserberührten Bauwerken wie beispielsweise Staudämmen erreichen die Ausdehnungen infolge AAR den Dezimeterbereich, was auch zu Folgeschäden bei den Betriebsinstallationen führen kann. Wegen der markanten Schadenbilder ist die AAR-Problematik bei Staudämmen weltweit schon seit Jahrzehnten bekannt. Aber auch Strassenbauten wie Brücken, Stützmauern (Abb. 6) und Tunnels sind häufig betroffen, denn die mehrfachen Belastungen durch Feuchtigkeit, Frost und Tausalz begünstigen die Schaden-



01



02



03

entwicklung. Wie Schadenfälle an Stützen von Eisenbahnviadukten in Japan zeigen, ist es nicht ausgeschlossen, dass die Ausdehnungen des Betons zum Bruch der Bewehrung führen (Abb. 1). Andere spektakuläre Schadenfälle sind an Fundationen in England aufgetreten.

HANDLUNGSBEDARF

Wie die Studie der TFB zeigt, ist ein beträchtlicher Teil der Schweizer Infrastrukturbauten von einer langsam fortschreitenden AAR betroffen. Auch wenn sich die Schäden im Voralpen- und Alpenraum häufen, enthalten doch die meisten für die Betonherstellung verwendeten Schweizer Kiessande, auch diejenigen im Mittelland, Anteile an reaktiven Gesteinsarten.² Es ist anzunehmen, dass in Zukunft die Anzahl von signifikant geschädigten Bauwerken kontinuierlich zunimmt. Die kommenden Kosten für Schutz- und Instandsetzungsmassnahmen sowohl von herausragenden Kunstbauten wie auch von unzähligen Kleinstbauten (beispielsweise Stützmauern) sind nicht vernachlässigbar. Daraus ergibt sich ein dringender Handlungsbedarf bei der Prävention für Neubauten und ein Wissensbedarf beim Umgang mit AAR-geschädigten bestehenden Bauwerken.

EUROPÄISCHE UND SCHWEIZER NORMEN ZU AAR

Die heute geltenden Normen SN EN 206-1: Beton – Teil 1: «Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität» sowie SIA 262: «Betonbau» enthalten keine konkreten Anforderungen an die AAR-Beständigkeit von Betonen. Viele europäische Länder, die USA, Kanada, Japan und andere verfügen über nationale Regelungen, die auf die lokalen Gegebenheiten (reaktive Gesteinsarten, Bindemittel, Bauweisen, Klimaverhältnisse) abgestimmt sind. Ein Konsens für die Ausarbeitung von europäischen Normen, beispielsweise für die Prüfung von Gesteinskörnungen, ist in nächster Zeit nicht absehbar.

Auch in der Schweiz besteht keine einheitliche Situation: Das Astra³ und die SBB, aber auch mehrere Kantone haben für die Vorbeugung von AAR-Schäden eigene Regelungen definiert. Die SIA-Kommission 262 Beton hat eine Arbeitsgruppe AG AAR für die Ausarbeitung eines Merkblattes⁴ zur Vorbeugung von AAR-Schäden gebildet, das voraussichtlich in diesem Jahr veröffentlicht werden soll. Darin wird ein Vorgehen aufgrund von Präventionsstufen vorgeschlagen, die pro Bauteil anhand der Wichtigkeit des Bauwerkes (Risikoklassen) und der Exposition des Bauteiles (Umgebungsklassen) bestimmt werden. Je nach Präventionsstufe ist der Einsatz eines AAR-beständigen Betons erforderlich. Zusätzlich können konstruktive Massnahmen getroffen werden, um das AAR-Schadensrisiko zu vermindern.

01 Gebrochene Bewehrungen am Stützenkopf eines Eisenbahnviadukts in Japan infolge der Ausdehnung des Betons durch die AAR unter ungünstigen Bedingungen (Foto aus Anm. 5)

02 Bohrkern mit AAR-Rissen (Fotos und Grafiken: Ch. Merz/TFB)

03 Standorte der erfassten Schweizer Bauwerke mit Anzeichen für AAR¹

04 Anzahl Bauwerke mit Anzeichen für AAR und Entwicklung des Zementverbrauchs in der Schweiz seit 1900¹

05 Entwicklung der AAR-Schäden an über 400 untersuchten Bauwerken in der Schweiz¹

06 AAR-Risse in einer durch Spritzwasser beaufschlagten Flügelmauer einer Galerie

07 Klaffender AAR-Riss (Rissweite ca. 3 mm) in einer Stützmauer

08 Für AAR charakteristische netzartige Risse mit auffälligen Ausblühungen bei einer Stauanlage

VORBEUGENDE MASSNAHMEN

Konstruktive Massnahmen dienen vor allem dazu, den Beton vor Feuchtigkeit und der Zufuhr von Alkalien von aussen (zum Beispiel Streusalze) zu schützen. Sie können aber auch darauf abzielen, beispielsweise über verstärkte Bewehrungen die Ausdehnungen zu verringern oder Zwängungen mittels Fugen und Gleitlagern zu vermeiden.

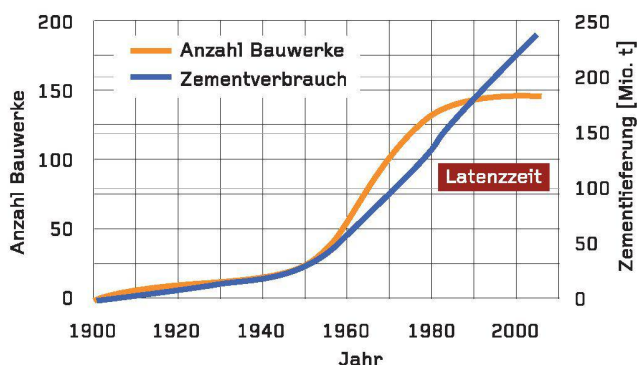
Die AAR-Beständigkeit von Betons kann entweder durch die Verwendung von nicht reaktiven Gesteinskörnungen erreicht werden (nur ausnahmsweise realisierbar) oder durch den Einsatz von Zusatzstoffen (vor allem Flugasche und Silikastaub) oder von flugasche-, silikastaub- oder hüttensandhaltigen Zementen, womit der Alkaligehalt bzw. der pH-Wert des Porenwassers verringert wird.

Der Nachweis der AAR-Beständigkeit einer Betonrezeptur erfolgt mit der sogenannten Beton-Performance-Prüfung (AFNOR XP 18-454). Dabei werden Betonprüfkörper sechs bis zwölf Monate bei 60°C und 100 % relativer Feuchte ausgelagert und deren Ausdehnungen gemessen. Die lange Prüfdauer muss bei der Planung eines Bauprojektes berücksichtigt werden. Die Reaktivität einer Gesteinskörnung wird ebenfalls nach einer französischen Norm geprüft, mit der sogenannten Microbar-Prüfung (AFNOR XP 18-594). Für diese beiden Prüfungen sind in der Schweiz keine Alternativprüfverfahren zugelassen. Das Astra finanziert ein Forschungsprojekt zur Validierung dieser beiden Prüfungen, das die TFB gemeinsam mit der Empa durchführt.⁸ Durch den Vergleich des Verhaltens von Gesteinskörnungen und Betonen im Bauwerk und im Labor sollen die Anwendbarkeit und die gültigen Grenzwerte dieser Prüfungen untersucht werden.

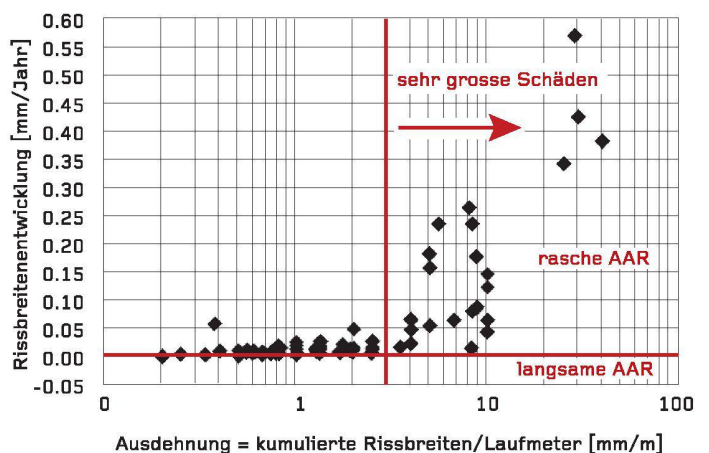
Die Umsetzung der Präventionsmassnahmen bedeutet in den nächsten Jahren einen Mehraufwand für die zertifizierten Betonhersteller. Die Mehrkosten sind jedoch im Vergleich zu den Kosten für Schutz- und Instandsetzungsmassnahmen verhältnismässig gering. Denn anders als bei Schäden infolge von Mängeln bei der Ausführung und Qualität von Betonbauten, die durch geeignete Massnahmen behoben werden können, entwickelt sich eine AAR unaufhaltsam im Bauwerk und kann nur verlangsamt oder zeitweise gestoppt werden.

SCHUTZ- UND INSTANDSETZUNG VON AAR-GESCHÄDIGTEN BAUWERKEN

Wirksame Schutz- und Instandsetzungsmassnahmen zur Erhaltung der Gebrauchstauglichkeit und der Lebensdauer eines Bauwerkes basieren in der Regel auf dem Austrocknen und dem Schutz vor weiterem Feuchtigkeitseintrag und vor Sekundärschäden (hauptsächlich Korrosions- und Frostschäden), können aber auch statische Verstärkungen beinhalten. Sie setzen in jedem Fall eine sorgfältige Zustandsuntersuchung voraus, in der das Schadensausmass, die bisherige und die zukünftige Schadenentwicklung in Funktion der Bauteil-



04



05



06



07



08

situation beurteilt werden. Dazu gehören die ursprüngliche Qualität des Betons, die statischen Bedingungen, die Exposition sowie die Art und das Ausmass der vorgefundenen Schäden und deren räumliche Verteilung und zeitliche Entwicklung. Bei gravierenden Schäden ist eine statische Überprüfung des Bauwerkes durchzuführen. Das Astra unterstützt weitere Forschungsprojekte, die sich mit dem Monitoring von geschädigten Bauwerken und der Prognose von zukünftigen Schadenentwicklungen am Bauwerk mittels Laborprüfungen befassen. Das Bundesamt für Energie (BFE) finanziert Grundlagenforschung an der EPF Lausanne, die sich mit der AAR in Staudämmen befasst.

WEITERE ENTWICKLUNG

Obwohl die Alkali-Aggregat-Reaktion seit über 60 Jahren weltweit erforscht wird, sind noch viele Fragen offen. Bis in die 1990er-Jahre blieben AAR-Schäden in der Schweiz weitgehend unerkannt. Seither hat sich die Situation aber stark verändert, und der Handlungsbedarf ist auch hierzulande unbestritten.

Mit zunehmendem finanziellem und verkehrstechnischem Aufwand für Unterhalts- und Instandsetzungsarbeiten werden die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit unserer Betonbauten weiterhin ansteigen. Gleichzeitig sind die abbaubaren Vorkommen qualitativ hochwertiger Kiessande längerfristig begrenzt. Im vorhergehenden Beitrag wurde gezeigt, dass der Einsatz von Recyclingbetonen, Betonen mit gebrochenem Material, aber auch von Betonen mit industriell hergestelltem Leichtzuschlag aus ökologischen Gründen immer aktueller wird. Diese Baustoffe können sich bezüglich AAR anders verhalten als die bisher verwendeten Betonsorten.

Darum werden die AAR-Risiken in Zukunft komplexer, und die wirksame Prävention wird anspruchsvoller, um allen Anforderungen an moderne Betonbauten gerecht zu werden. Andererseits sind unsere Infrastrukturen grösstenteils gebaut, und die Hauptaufgabe im öffentlichen Bauwesen liegt im Unterhalt und der Erhaltung. Bei Bauwerken, an denen AAR vorkommt, muss mit kontinuierlichen Ausdehnungen der Schäden gerechnet werden. Die Dauerhaftigkeit von herkömmlichen Instandsetzungsmassnahmen ist daher zu hinterfragen, und eventuell müssen neue materialtechnische und konstruktive Lösungen gesucht werden.

Anmerkungen

- 1 Merz Ch., Hunkeler F., Griesser A. (2006): Schäden durch Alkali-Aggregat-Reaktion an Betonbauten in der Schweiz. Forschungsbericht VSS Nr. 599, S. 150
- 2 Frenzer G., Hammerschlag J.-G., Henoch Th., Leemann A. et al. (2005): Alkali-Aggregat-Reaktion in der Schweiz. Bericht Cemsuisse, S. 53
- 3 Hunkeler F., Merz Ch., Kronenberg P. (2007): Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR), Grundlagen und Massnahmen bei neuen und bestehenden Kunstbauten. Astra-Dokumentation 8213, S.132
- 4 Merkblatt SIA 2042: Massnahmen zur Vermeidung der Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) beim Betonbau (in Arbeit)
- 5 Kazuyuki T., Shingo W., Teruhiko S., Toshihiko M. (2008): A survey on ASR affected bridge piers with fracture of steel bars on Noto Expressway, Proceedings of 13th ICAAR, Trondheim, S. 1304–1311
- 6 Forschungsprojekt 2006/003: Beurteilung der praktischen Relevanz der heutigen AAR-Prüfungen

Christine Merz, Dr ès sc., Geologin, TFB AG, merz@tfb.ch

Fritz Hunkeler, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH, Werkstoffingenieur, TFB AG, hunkeler@tfb.ch