

## Cédric Thalmann, Jean Pralong, Jacques Burdin

### Ausgangslage

Schäden infolge einer Alkali-Aggregat-Reaktion (**Bild 1**) wurden in der Schweiz vor dem Jahr 2000 oft nicht als solche erkannt und fälschlicherweise als Frostschäden interpretiert. Die erste Publikation zu AAR-Schäden in der Schweiz wurde 1995 veröffentlicht [1]. Seither sind verschiedene Publikationen zu diesem Thema erschienen [2 bis 5]. Untersuchungen an Gesteinskörnungen haben ergeben, dass rund 85% der Abbaugebiete in der Schweiz als potentiell reaktiv gelten [6].

Bewitterung ausgesetzt sind, wie z.B. Untertagebauten, weisen seltener Schadensmerkmale auf [7]. Ein Forschungsprojekt des Bundesamts für Strassen ASTRA hat rund 400 Bauwerke in der Schweiz erfasst, welche Merkmale oder Schäden von AAR aufweisen [8].

### Internationale Massnahmen

Auf internationaler Ebene gibt es eine Vielzahl von Empfehlungen und Normen zur Verhinderung von AAR-Schäden, da die betroffenen Länder aufgrund ihrer spe-

### Starting point

In Switzerland before the year 2000 damage due to the alkali-aggregate reaction (AAR) (**figure 1**) was not recognized as such and incorrectly interpreted as frost damage. The first publication on AAR damage in Switzerland was published in 1995 [1]. Since then various publications on this topic have appeared [2 to 5]. Investigations on aggregates have shown that about 85% of the quarrying sites in Switzerland are considered as potentially reactive [6].

AAR damage first occurs when the resulting constraining stresses caused by the reaction exceed the tensile strength of concrete. Consequently, damage to the matrix, cracks and spalling in the concrete takes place (**figure 2**).

In Switzerland damage due to AAR has been observed in the following structures:

- retaining and wing walls, decorative borders
- external parts of tunnels and galleries
- bridge piers and in the region of the base
- structures in the vicinity of hydroelectric power stations

Most of the structures involved have an age of 20 to 40 years. Sprayed concrete and concrete structures that are not exposed directly to weathering, e.g. underground structures, rarely exhibit damage characteristics [7]. A research project of the Federal Office for Roads ASTRA has surveyed around 400 structures in Switzerland that show signs of AAR or damage due to AAR [8].

### International Measures

Internationally there are a number of recommendations and codes to prevent AAR damage, since the countries involved because of their specific situation regarding raw materials have defined their own AAR measures. The RILEM

Die Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) ist eine Reaktion zwischen Bestandteilen der Gesteinskörnung und der Porenlösung des Betons. Die aus der expansiven Reaktion resultierende Dehnung kann zu Betonschäden führen. Es gibt drei Reaktionstypen der AAR:

- Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)
- Alkali-Silikat-Reaktion (ASR)
- Alkali-Karbonat-Reaktion

In der Schweiz wurden bis anhin nur die AKR und die ASR festgestellt. Damit eine AAR im Beton ausgelöst werden kann müssen folgende drei Bedingungen gleichzeitig erfüllt sein:

- Ausreichend Feuchtigkeit
- Genügender wirksamer Alkaligehalt der Porenlösung
- Potentiell reaktive Gesteinskörnung

1

AAR-Definition  
und -Typen.  
AAR-definition  
and AAR-types

Ein AAR-Schaden erfolgt aber erst, wenn die aus der Reaktion resultierende Zwangsspannung grösser wird als die Zugfestigkeit im Beton. Als Folge können Gefügestörungen, Risse und Abplatzungen im Beton entstehen (**Bild 2**).

In der Schweiz treten AAR-bedingte Schäden an folgenden Bauwerken auf:

- Stütz- und Flügelmauern, Bordüren
- Aussenbereiche von Tunnels und Galerien
- Brückenpfeiler und Sockelbereiche
- Bauten in Bereich von Wasserkraftanlagen

Die meisten betroffenen Bauwerke haben ein Alter von 20 bis 40 Jahren. Spritzbeton und Betonbauwerke, die nicht der direkten

zifischen Rohstoffsituation eigene AAR-Massnahmen definiert haben. Das technische Komitee TC 191 der RILEM arbeitet zurzeit auf eine internationale Harmonisierung der AAR-Normen hin.

Grundsätzlich basieren die AAR-Normen auf zwei Typen von Nachweisverfahren:

- Stofflicher Nachweis: Dieser definiert die Art und/oder die Menge der Zemente und Zusatzstoffe die eingesetzt werden dürfen.
- Prüftechnischer Nachweis: Die Reaktivität des vorgesehenen Betons und/oder der Gesteinskörnung dürfen die Grenzwerte der entsprechenden Prüfungen nicht überschreiten.

### Nationale Massnahmen

In der Schweiz gibt es noch keine AAR-Norm. Jedoch wurden AAR-



2

Links: Kirche mit bis zu mehreren cm geöffneten Rissen.

Rechts: Brückenpfeiler mit netzartigem AAR-Rissmuster.

*Left: Church with centimetres wide open fissures in the concrete.*

*Right: Bridge pier with AAR-fissures*



Massnahmen für verschiedene Bauvorhaben umgesetzt. Die ersten Bauvorhaben, bei welchen Massnahmen für eine AAR-Prävention definiert wurden, sind die Tunnelbauten des Projekts AlpTransit [9]. Die hohen Anforderungen an den Beton und eine geforderte Nutzungsdauer von 100 Jahren bedingte, dass die vorgesehenen Gesteinskörnungen, welche aus geeignetem Tunnelausbruchmaterial hergestellt werden, auch auf ihre potentielle Reaktivität hin untersucht wurden [10, 11]. Die Untersuchungen ergaben, dass rund die Hälfte des für die Produktion vorgesehenen Tunnelausbruchmaterials als potentiell reaktiv einzustufen ist. In der Schweiz haben sich die französischen Prüfverfahren durchgesetzt. Dies sind insbesondere die Mikrobarprüfung (AFNOR P18-594 und P18-542) zur Bestimmung der potentiellen Reaktivität der Gesteinskörnungen und die Beton-Performance-Prüfung (AFNOR P18-454 und P18-456) zur Beurteilung des AAR-Widerstandes [6]. Der Grenzwert der Mikrobar-Prüfung liegt bei 0.11% (nach

*Technical Committee TC 191 is currently working on an international harmonization of the AAR codes. Basically the AAR codes are based on two types of verification procedures:*

- *Material verification: This defines the way and/or the amount of cements and additives that may be used.*
- *Experimental verification: The reactivity of the proposed concrete and/or the aggregates may not exceed the limiting values of the corresponding proof tests.*

### **National Measures**

*In Switzerland there is still no AAR code. AAR measures have however been applied in various construction projects. The first projects, in which the measures for AAR prevention were defined, are the tunnel structures of the AlpTransit Project [9]. The high demands on the concrete and a required working life of 100 years necessitates that the foreseen aggregates, which are produced from cleaned tunnel excavation material, were also investigated for their potential reactivity [10,*

*11]. The investigations showed that around half the tunnel excavation material for concrete production must be classified as potentially reactive.*

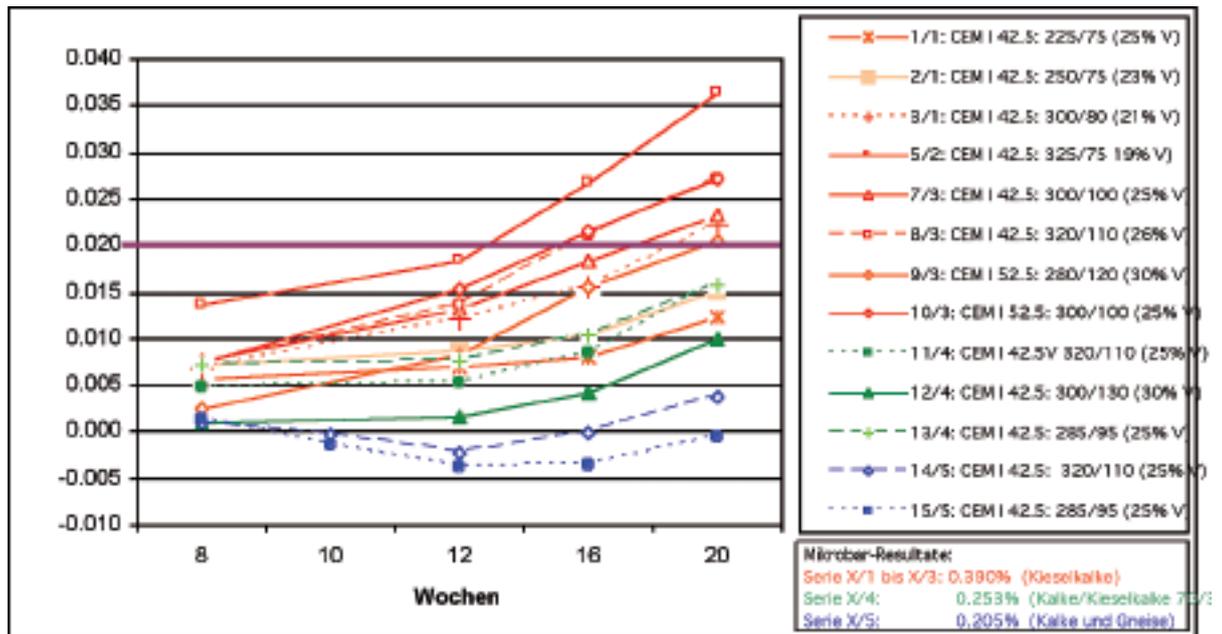
*In Switzerland the French testing methods have established themselves, in particular the microbar test (AFNOR P18-594 and P18-542) to determine the potential reactivity of the aggregates and the concrete performance test (AFNOR P18-454 and P18-456) to assess the AAR resistance [6]. The limiting value of the microbar test is 0.11% (after 4 days measuring time) and that of the concrete performance test is 0.2% after 3 to 5 months measuring time, or 0.3% after 12 months measuring time.*

### **AlpTransit Lötschberg**

*AAR prevention for the AlpTransit Lötschberg is based on the French recommendations and testing standards [12].*

### **Reactivity of the aggregates**

*The potential reactivity of the individual rock formations is checked by means of microbar testing (AFNOR P18-594).*



3

Beton-Performance-Prüfung (AFNOR P18-454) von Mischungen mit CEM I, Flugasche und drei verschiedenen Typen von potentiell reaktiven Gesteinskörnungen. Grenzwert  $\leq 0.02\%$  nach 5 Monaten (Legende: 1/1: Prüfserie, CEM I 42.5: Zementtyp, 225/75: Zement-/Flugaschengehalt kg/m<sup>3</sup>-Beton, V: Flugaschegehalt in % des Bindemittelgehaltes).

Concrete-performance-test (AFNOR P18-454) with CEM I cement and different reactivity level of the aggregates. Concrete expansion values under 0.2% after 5 months are considered to be resistant against AAR (legend: 1/1: test series, CEM I 42.5: cement type, 225/75: cement content / fly ash content kg/m<sup>3</sup>, V: fly ash as mass-%).

4 Tagen Messzeit) und derjenige der Beton-Performance-Prüfung bei 0.2% nach 3 bis 5 Monaten Messzeit, respektive bei 0.3% nach 12 Monaten Messzeit.

#### AlpTransit Lötschberg

Die AAR-Prävention bei AlpTransit Lötschberg stützt sich auf die französischen Empfehlungen und Prüfnormen ab [12].

#### Reaktivität der Gesteinskörnung

Die potentielle Reaktivität der einzelnen Felsformationen wird mittels Mikrobar-Prüfung kontrolliert (AFNOR P18-594).

#### Bestimmung der Risikostufe

Die Risikoanalyse sieht Präventionsmassnahmen für den Sohlenbeton, Gleisstragplattenbeton und für den Sicherungs- und Verkleidungsspritzbeton bei einschaliger Bauweise vor.

#### Bestimmung der Präventionsstufe

Die Präventionsstufe gilt als erreicht, wenn der AAR-Widerstand der Betontypen mittels erfüllter Beton-Performance-Prüfung (AFNOR P18-454) überprüft wurde (Bild 3 und 4).

#### Betontechnologische Massnahmen

Als betontechnologische Massnahmen wird Zement (CEM I und CEM II/A-LL) in Kombination mit Flugaschen eingesetzt. Der Flugascheanteil beträgt 25 bis 30% des Gesamtbindemittels. Für den Sicherungs- und Verkleidungsspritzbeton bei einschaliger Bauweise wird auch ein CEM II/A-M bestehend aus 8% Silicastaub eingesetzt.

#### Konstruktive Massnahmen

In Bereichen mit eindringen Bergwasser wird der Beton zusätzlich mit Abdichtungsfolien geschützt.

#### Determination of the risk level

The risk analysis provides for prevention measures for the invert concrete, the concrete for the slab foundation carrying the track and for the temporary support and the permanent concrete linings in the case of the monocoque (i.e. single shell) construction method.

#### Determination of the prevention level

The prevention level is considered to have been reached, when the AAR resistance of the concrete types have been verified by fulfilling the concrete performance test (AFNOR P18-454) (figures 3 and 4).

#### Concrete technology measures

For a concrete technology measure cement (CEM I and CEM II/A-LL) is used in combination with fly ash. The proportion of fly ash is 25 to 30% of the total cementation component. For the sprayed con-

### Erfahrungen

In **Bild 3** sind die Dehnungen der Beton-Performance-Prüfung diverser Betonmischungen bestehend aus CEM I und einem Flugaschenanteil zwischen 19 bis 30% aufgeführt. Für die Prüfung wurden drei verschiedenen Gesteinskörnungstypen mit unterschiedlicher Mikrobar-Reaktivität verwendet (s. **Legende in Bild 3**). Die Längendehnung ist Abhängig von der Art der Gesteinskörnungen und der Zementmenge. Für die Betonmischungen bestehend aus reinen Kieselkalk-Gesteinskörnungen, muss gemäss der Performance-Prüfung in **Bild 3** der Zementgehalt unter 280kg/m<sup>3</sup>-Beton liegen. Mit den beiden anderen Gesteinskörnungen sind höhere Zementgehalte bis 320 kg/m<sup>3</sup> möglich, ohne dass der Grenzwert überschritten wird. Die Flugaschen scheinen keinen direkten Einfluss auf die Dehnung auszuüben sondern wirken als reiner Zementersatz. Obwohl die Beton-Performance-Prüfungen in **Bild 4** mit nicht reaktiven Gesteinskörnungen herge-

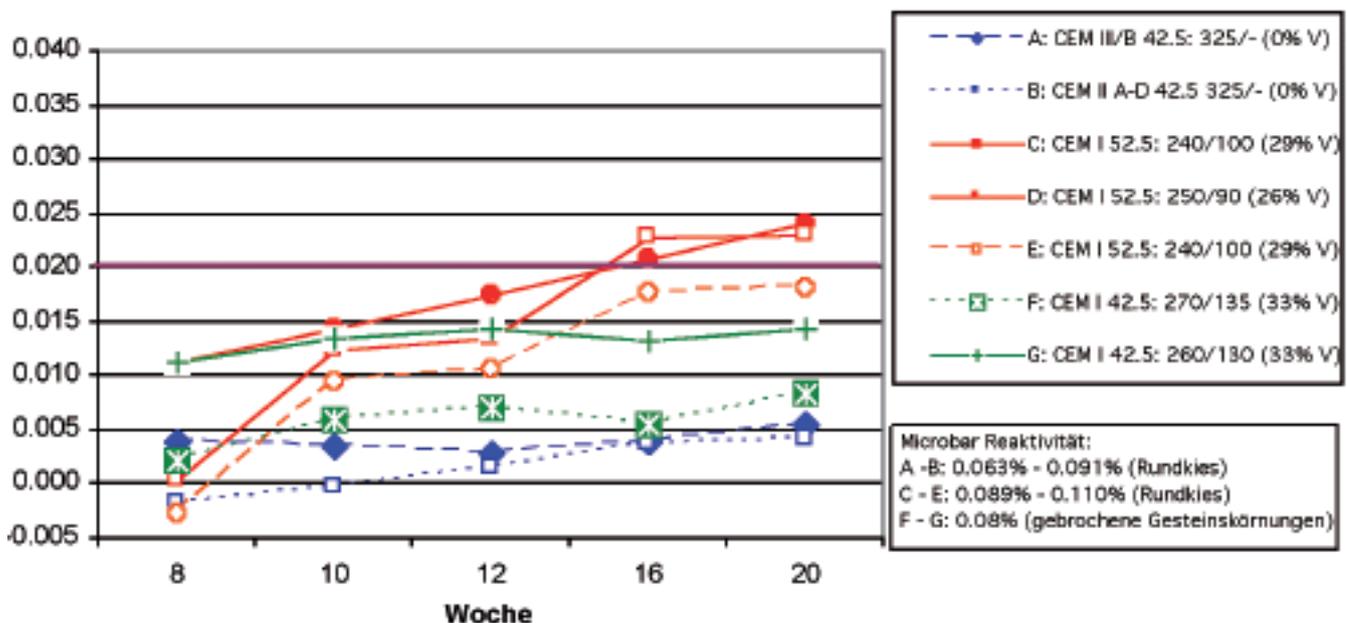
crete for the temporary support and the permanent lining for the monocoque construction method also a CEM IIIA-M comprising 8% silica dust is used.

### Constructional measures

In the areas with ingress of groundwater in addition the concrete is protected with sealing sheets.

### Experience

In **Figure 3** the strains of the concrete performance test of various concrete mixes consisting of CEM I and a fly ash component between 19 and 30% is applied. For the test, three different types of aggregate with different microbar reactivity are used (see **Legend in Figure 3**). The axial strain depends on the aggregate type and the amount of cement. For the concrete mixes consisting purely of siliceous limestone aggregate, according to the performance test in **figure 3** the cement content must be below 280kg/m<sup>3</sup>-concrete. With the other two aggregates higher cement contents up to 320 kg/m<sup>3</sup>



4

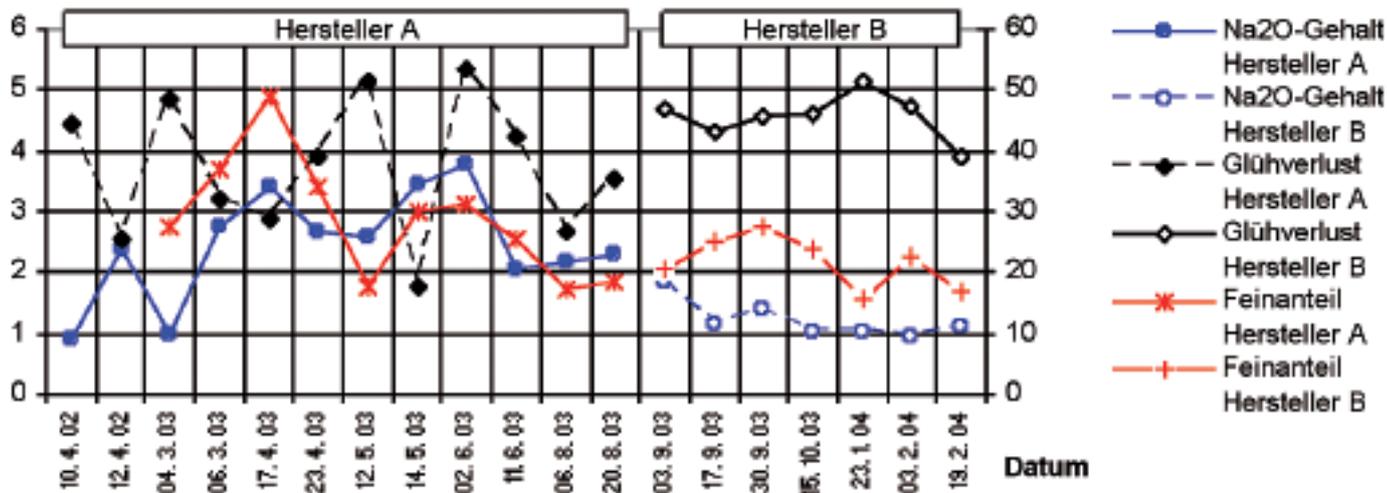
Beton-Performance-Prüfung (AFNOR P18-454) von Mischungen mit verschiedenen Zementtypen, Flugaschen und drei verschiedenen Typen von nicht reaktiven Gesteinskörnungen (Legende: s. Abbildung 3).

Concrete-performance-tests (AFNOR P18-454) with different cement types and different reactivity level of the aggregates (legend: see also fig. 3)

## 5

Untersuchungen an zwei verschiedenen Flugaschentypen.

*Analyses of two different fly ash types (Na<sub>2</sub>O: alkali content, Glühverlust: lost of ignition, Feinheit: fines content*



stellt wurden, liegen zwei Versuche nach 16 Wochen Messzeit über dem zulässigen Grenzwert. Um diesen widersprüchlichen Sachverhalt zu klären wurden die Rückstellproben der Zemente und Zusatzstoffe (Flugasche) analysiert. Hier bei ergaben die Untersuchungen an den Flugaschen ein durchgezogenes Bild (**Bild 5**).

Aus **Bild 5** wird ersichtlich, dass der Hersteller A Flugaschen mit stark variierender Qualität lieferte. Der Alkaligehalt und der Feinanteil liegt teilweise ausserhalb der Anforderungen gemäss EN 450-1. Erst der Wechsel zum Hersteller B führte dazu, dass die untersuchten Parameter innerhalb einer kleinen Bandbreite blieben. Auch die mikroskopische Analyse hat ergeben, dass die Flugasche des Herstellers A gegenüber B einen erhöhten Anteil an porösen, nicht kugeligen Schlackenanteilen aufweist. Die Reaktivitätsprüfung mittels Mikrobar-Prüfung ergab eine vier Mal höhere Reaktivität für den Typ A gegenüber B [9]. Die Ergebnisse dieser Analysen führten zur Folgerung, dass die Flugaschen des Herstellers A den AAR-Widerstand des Betons empfindlich verschlechtern und dieser Zusatzstoff nicht mehr eingesetzt werden darf.

#### AlpTransit Gotthard

Folgende AAR-Massnahmen wurden für das Tunnelprojekt AlpTransit Gotthard (ATG) getroffen:

*are possible, if the limiting value is not exceeded. The fly ashes seem to have no direct influence on the strain but act simply as cement replacement.*

*Although the concrete performance tests in **figure 4** were obtained with non-reactive aggregates after sixteen weeks measuring time both tests give results above the allowable limiting value. In order to explain this incongruous result the retained sample of the cements and additive (fly ash) was analysed. Here the investigations on the fly ash produced a clear (???) picture (**figure 5**).*

*From **figure 5** it is evident that the producer A of fly ash supplies material of very varying quality. The alkali content and the fines lie partially outside the requirements according to EN 450-1. It was only by changing to producer B that the investigated parameters remained within a small range. The microscopic analysis also showed that the fly ash of producer A compared to producer B had a higher proportion of porous non-rounded slag components. The reactivity test using the microbar test resulted in a four times higher reactivity than for type A compared to type B [9]. The results of these analyses lead to the conclusion that the fly ash of producer A would give a considerably poorer AAR resistance of the concrete and this additive could no longer be used.*

Bauteildimension und klimatische Bedingungen	AAR-Risikostufe		
	Mikrobar <0.10	Mikrobar <0.2	Mikrobar ≥0.2
Nicht massiv und trocken <sup>a, b</sup>	1	1	2
Massiv und trocken <sup>b</sup>	1	2	3
Der Feuchtigkeit ausgesetzt	1	3	4

a: Als «massiv» gelten Bauteile >1m  
 b: als trocken gilt eine durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit von <60%

**6** Bestimmung der Risikostufe gemäss den kanadischen AAR-Empfehlungen. Gelb hinterlegt: Parameter die für den ATG-Beton gelten.  
*Determination of the level of risk of AAR for the AlpTransit concrete.*

AAR-Risikostufe (Abbildung 6)	Geforderte Funktionsdauer		
	< 5 Jahre	5 bis 50 Jahre	> 50 Jahre
1	V	V	V
2	V	W	X
3	V	X	Y
4	W	Y	Z

Präventionsstufe V: benötigt keine Massnahmen  
 Präventionsstufen W, X, Y, Z benötigen Massnahmen

**7** Bestimmung der Präventionsstufe gemäss den kanadischen AAR-Empfehlungen. Gelb hinterlegt: Risikostufen der Bauteile ATG.  
*Determination of the level of prevention for the AlpTransit concrete.*

**Reaktivität der Gesteinskörnung**

Das anfallende Tunnelausbruchmaterial wird alle 250 Tunnelmeter in reaktiven Zonen mittels Mikrobar-Prüfungen (AFNOR P18-594) überprüft. In nicht reaktiven Bereichen wird das Rohmaterial alle 500 Tunnelmeter geprüft. Die zubereiteten Gesteinskörnungen werden alle 20'000 bis 40'000 Tonnen geprüft. Es wird eine maximale potentielle Reaktivität von 0.2% toleriert.

**Bestimmung der Risikostufe**

Basierend auf den kanadischen AAR-Empfehlungen [13] wurde die AAR-Risikostufe für die einzelnen Bauteile in Abhängigkeit der Bauteildimension, der klimatischen Bedingungen und Reaktivität der Gesteinskörnungen definiert (Bild 6). Zur Stufe 1 wurde Beton klassiert welcher weniger als 1 Meter im Durchmesser aufweist und einer Umgebungsfeuchtigkeit unter 60% ausgesetzt ist. In die Stufe 3 wurde Beton klassiert der Wasser oder erhöhter Feuchtigkeit ausgesetzt ist.

**AlpTransit Gotthard**

*The following AAR measures were adopted for the AlpTransit Gotthard (ATG) tunnel project:*

**Reactivity of the aggregates**

*The tunnel excavation material is tested every 250 metres of tunnel in reactive zones using microbar tests (AFNOR P18-594). In non-reactive zones the material is tested every 500 metres of tunnel. The prepared aggregates are tested every 20,000 to 40,000 tonnes. A maximum potential reactivity of 0.2% is tolerated.*

**Determination of the risk level**

*Based on the Canadian AAR Recommendations [13] the AAR risk level was defined for individual construction elements as a function of their dimensions, the climatic conditions and the reactivity of the aggregates (figure 6). Level 1 corresponds to a concrete class with less than 1 metre diameter and subjected to humidity conditions of less than 60%. Level 3 corresponds to concrete subjected to water or increased humidity.*

**Determination of the prevention level**

*The prevention levels ATG were defined as levels V and Y (figure 7). Level V does not require any measures, since it is intended for use with non-reactive aggregates. Level Y on the other hand requires stringent measures. The measures have to be adopted in particular for the concrete for the invert and for the temporary support and the permanent lining in the case of elements of monocoque construction.*

**Concrete technological measures**

*The prevention level Y according to the Canadian recommendation requires that either the alkali content of Portland cement in concrete must be less than 1.8 kg/m<sup>3</sup> or the cement is applied in combination with a sufficient proportion of additives. In the case of ATG the second solution was adopted since it had already been foreseen by the contractors. Cements with a constituent proportion of at least 50% blast furnace slag (CEM III/A, CEM*

## 8

Risiko- und Beanspruchungsklassen gemäss den Empfehlungen cemsuisse.  
*Determination of the level of risk and concrete environment following the cemsuisse recommendations.*

**Bestimmung der Präventionsstufe**

Die Präventionsstufen ATG wurden als Stufen V und Y definiert (**Bild 7**). Die Stufe V benötigt keine Massnahmen, da sie für den Einsatz von nicht reaktiven Gesteinskörnungen vorgesehen ist. Die Stufe Y fordert hingegen strenge Massnahmen. Die Massnahmen gilt es insbesondere für den Sohlenbeton und den Sicherungs- und Verkleidungsspritzbeton bei den in einschaliger Bauweise erstellten Bauteilen umzusetzen.

**Betontechnologische Massnahmen**

Die Präventionsstufe Y verlangt gem. der kanadischer Empfehlung, dass entweder der Alkaligehalt des Portlandzementes im Beton unter 1.8 kg/m<sup>3</sup> betragen

**Konstruktive Massnahmen**

Zusätzlich zu den betontechnologischen Massnahmen wird der Beton mit einer Rundumabdichtung vor eindringendes Wasser geschützt.

**Beton-Performance-Prüfung**

Neben der kontinuierlichen Überprüfung der stofflichen Zusammensetzung der Zemente wird der AAR-Widerstand der eingesetzten Betontypen zusätzlich periodisch mittels Beton-Performance-Prüfung (AFNOR P18-454) überprüft. Die ersten vorliegenden Messresultate bestätigen die Wirksamkeit der verwendeten Zemente hinsichtlich ihres AAR-Widerstandes.

**Empfehlungen cemsuisse**

Der Verband der Schweizerischen

III/B) or 7% silica dust (CEM IIIA-D) are used. The use of fly ash was not planned by the contractors.

**Constructional measures**

In addition to the concrete technological measures the concrete is protected all around from infiltrating water with a waterproofing seal.

**Concrete performance testing**

Besides continuous testing of the material composition of the cements the AAR resistance of the concrete types used are also tested periodically by means of the concrete performance test (AFNOR P18-454). Preliminary test results confirm the effectiveness of the cements used with regard to their AAR resistance.

Risiko-klasse	Beschreibung des Bauwerkes	Akzeptanz eines AAR-Schadens
R 1	Bauwerke mit einer geplanten Nutzungsdauer bis 50 Jahren Beispiele: Provisorische Bauteile, austauschbare Bauteile, vorfabrizierte Teile und Elemente ohne besondere Belastung, d.h. keine Kanalisations- oder Kläranlagen	annehmbar
R 2	Gebäude und andere Bauwerke von normaler Bedeutung (geplante Nutzungsdauer 50 - 100 Jahre) Beispiele: Hochbauobjekte verschiedener Art	kaum annehmbar
R 3	Bauwerke von übergeordneter Bedeutung oder mit unzulässiger Rissbildung (geplante Nutzungsdauer über 100 Jahre) Beispiele: Stauamauern, Brücken, Kunstbauten, Prestigebauten	nicht annehmbar

Beanspruchungs-klasse	Beschreibung der zu erwartenden Beanspruchung des Bauwerkes
B 1	Betonbauteile, die während der Nutzung weitgehend trocken bis mässig feucht bleiben. Beispiele: Innenbauteile des Hochbaus (Luftfeuchtigkeit ≤ 75%); Aussenbauteile ohne direkten Wasserkontakt
B 2	Betonbauteile, die während der Nutzung Wechsell von nass und trocken ausgesetzt sind und/oder häufig feucht sind. Beispiele: Innenbauteile des Hochbaus (Luftfeuchtigkeit > 75%); Aussenbauteile mit direktem Wasserkontakt; masige Bauteile (Bauteildicke > 1,0 m) inkl. der Beanspruchungsklasse B 1
B 3	Betonbauteile, die während der Nutzung ständig nass und dauernd feucht sind und/oder mit häufiger äusserer Alkalizufuhr Beispiele: Bauteile von Wasserkraftanlagen; Betonfahrbahnen; Bauten im Grundwasserbereich

muss oder dass der Zement in Kombination mit einem genügenden Anteil an Zusatzstoffen verwendet wird. Bei ATG wird die zweite Lösung umgesetzt, da diese bereits von den Unternehmern vorgesehen waren. Es werden Zemente bestehend aus einem Anteil von mindestens 50% Hochofenschlacke (CEM III/A, CEM III/B) oder 7% Silicastaub (CEM II/A-D) eingesetzt. Der Einsatz von Flugaschen war von den Unternehmern nicht vorgesehen.

Cementindustrie cemsuisse publizierte 2005 Empfehlungen für Neubauten [6]. Diese eignen sich für die Prävention von Gebäuden und anderer Bauwerke von normaler Bedeutung, mit einer Nutzungsdauer von 50 bis 100 Jahren. Die Empfehlungen gliedern sich in folgende vier Schritte:

- Risikobewertung des Bauwerkes
- Bewertung der Beanspruchung
- Beurteilung der Prävention
- Festlegung des Betons

**Recommendations of cemsuisse**

The association of the Swiss Cement Industry cemsuisse published recommendations in 2005 for new structures [6]. These are suitable for the prevention in buildings and other structures of average importance, with a working life of 50 to 100 years. The recommendations are divided into the following four steps:

- Risk evaluation of the structure
- Evaluation of the loading

### Risikobewertung und Beanspruchung des Bauwerkes

Vom Bauherrn wird in Zusammenarbeit mit dem Planer eine Risikobewertung und Beschreibung der zu erwartenden Beanspruchung des Bauwerkes durchgeführt. Die Risikoklasse wird anhand der Wichtigkeit des Bauwerkes und der geplanten Nutzungsdauer sowie der Akzeptanz eines AAR-Schäden festgelegt (**Bild 8**).

### Beurteilung der Prävention

Mit der festgelegten Risikoklasse und Beanspruchungsklasse gemäss **Bild 8** lässt sich anhand der Matrix in **Bild 9** die Präventionsstufe ableiten.

### Festlegung des Betons

In **Bild 10** wird im Flussdiagramm die Vorgehensweise bei einem Verdacht einer betonschädigenden AAR dargestellt. Detailliert wird dabei auf den Ablauf bei der Präventionsstufe P 2 eingegangen. Das Flussdiagramm berücksichtigt dabei die Grundlagen für die Festlegung des Betons gemäss SN EN 206-1:2000.

### Langzeiterfahrungen

Der Hersteller, bzw. Lieferant der Gesteinskörnung und/oder der Hersteller des Betons erbringt eines der beiden Nachweisverfahren. Der Bauherr entscheidet, welches Nachweisverfahren er akzeptiert.

- Nachweisverfahren 1: Der Hersteller bzw. Lieferant von Gesteinskörnungen erklärt unter

- Assessment of the prevention
- Specification of the concrete

### Risk evaluation and loading of the structure

The owner in cooperation with the planners performs a risk evaluation and a description of the expected actions on the structure. The risk class is specified in accordance with the importance of the structure and the planned working life as well as the acceptance of AAR damage (**figure 8**).

### Assessment of the prevention

By specifying the risk class and the actions class according to Figure 8 the prevention level can be derived in the form of the matrix in **figure 9**.

### Specifying the concrete

In **figure 10** the flow diagram shows the procedure to follow in the case of suspected damage to the concrete due to AAR. The procedure for prevention level P 2 is described in detail. The flow diagram takes into account the basic principles for specifying the concrete according to SN EN 206-1:2000.

### Long-term experiences

The manufacturer or supplier of the aggregates and/or the manufacturer of the concrete has to carry out one of the two verification

methods. The owner decides which verification method is acceptable to him.

- Verification method 1: The manufacturer or supplier of the aggregates declares in writing, giving information of the period of time, that on the basis of his present experience there is no known AAR damage to structures, in which his aggregates have been used in a standard way.
- Verification method 2: Verification by the manufacturer of the aggregates or of the concrete on the basis of existing results of concrete performance tests according to AFNOR P 18-454. The results of concrete performance tests may not be older than 5 years. The starting materials used in the tests (aggregates, cement type and amount) must be comparable with those of the specified concrete.

### Reactivity of the aggregates

The following verifications have to be produced by the manufacturer or supplier of the aggregates, in order to be able to assess the reactivity of the aggregates:

- Verification method 1: Petrographic description according to SN 670 115. The petrographic description corresponds to the identification of aggregates. This investigation is required within the framework of the certification of gravel quarries and thus does not have to be

Beanspruchungsklasse \ Risikoklasse	B 1	B 2	B 3
R 1	P 1	P 1	P 1
R 2	P 1	P 1* oder P 2	P 2
R 3	P1* oder P 2	P2 <sup>+</sup> oder P 2	P 3 <sup>+</sup>

Legende:

<sup>+</sup> : In diesen Fällen werden zusätzliche konstruktive Massnahmen empfohlen

\*: Für die Einstufung in die Präventionsstufe P 1 ist eine Herstellerklärung notwendig.

9

Präventionsstufe in Abhängigkeit von der Risiko- und Beanspruchungs-klasse. Determination of the level of prevention following the cements recommendations.

Angabe eines Zeitraumes schriftlich, dass ihm aufgrund seiner vorliegenden Erfahrungen keine AAR-Schäden an Bauwerken bekannt sind, bei welchen seine Gesteinskörnungen normgemäss verwendet wurden.

- Nachweisverfahren 2: Nachweis durch den Hersteller der Gesteinskörnungen oder des Betons anhand von bereits bestehenden Ergebnissen von Beton-Performance-Prüfungen nach AFNOR P 18-454. Die Ergebnisse von Beton-Performance-Prüfungen dürfen nicht älter als 5 Jahre sein. Die bei der Prüfung eingesetzten Ausgangsstoffe (Gesteinskörnung, Zementart, -menge) müssen mit denjenigen des vorgesehenen Betons vergleichbar sein.

#### Reaktivität der Gesteinskörnung

Die nachfolgenden Nachweise sind vom Hersteller bzw. Lieferanten der Gesteinskörnung zu erbringen, um damit die Reaktivität der Gesteinskörnung beurteilen zu können:

- Nachweisverfahren 1: Petrographische Beschreibung nach SN 670 115. Die petrographische Beschreibung gilt der Identifikation von Gesteinskörnungen. Diese Untersuchung wird im Rahmen der Zertifizierung von Kieswerken verlangt und muss somit nicht speziell für die Reaktivität wiederholt werden.
- Nachweisverfahren 2: Mikrobar-Prüfung nach AFNOR P 18-594. Die Ergebnisse der Mikrobar-Prüfung für eine untersuchte Gesteinskörnung bleiben 5 Jahre gültig, sofern durch Fachleute keine signifikante Änderung in der Zusammensetzung der Gesteinskörnung in der petrographischen Beschreibung nach SN 670 115 festgestellt wurde.

#### Reaktivität des Betons

Der Nachweis ist vom Hersteller von Beton zu erbringen, um damit die Reaktivität des Betons beurteilen zu können.

- Nachweisverfahren: Beton-Performance-Prüfung nach AFNOR

*repeated specially for the reactivity assessment.*

- *Verification method 2: Microbar test according to AFNOR P 18-594. The results of the Microbar test for an investigated gravel type are valid for 5 years, provided experts have not detected any significant change in the composition of the aggregate material in the petrographic description according to SN 670 115.*

#### Reactivity of the concrete

*The verifications have to be produced by the manufacturer or supplier, in order to be able to assess the reactivity of the concrete.*

- *Verification method: Concrete performance test according to AFNOR P 18-454. The results of the concrete performance tests are valid for 5 years, provided there are no significant changes in the concrete composition and in the individual components (aggregates, cement, additives, admixtures).*

#### Concrete technological measures

*By far the greatest amount of aggregates in Switzerland is potentially reactive. Thus in the construction industry potentially reactive aggregates are also used. With a suitable concrete composition non-reactive concrete can also be produced with potentially reactive aggregates.*

*In Switzerland concrete is mainly produced with Portland cement CEM I and with Portland limestone cement CEM III/A-LL. If it is necessary to minimize the risk of AAR damage, instead of the cements CEM I and CEM III/A-LL other types of CEM II can be used. Thus cement slag is replaced by additives such as silica dust, fly ash or blast furnace slag in the cement. A still higher AAR resistance can be achieved with blast furnace cement of type CEM III/B.*

*The concrete technological measures however involve not only the choice of a suitable concrete composition but also careful execution (placement, compaction*

P 18-454. Die Ergebnisse der Beton-Performance-Prüfungen bleiben 5 Jahre gültig, sofern keine signifikanten Änderungen an der Betonzusammensetzung und an den einzelnen Komponenten (Gesteinskörnung, Zement, Zusatzstoffe, Zusatzmittel) vorgenommen werden.

**Betontechnologische Massnahmen**

Der weitaus grösste Teil der Gesteinskörnungen in der Schweiz ist potentiell reaktiv. Entsprechend werden zur Herstellung von Bauwerken auch potentiell reaktive Gesteinskörnungen eingesetzt. Mit einer geeigneten Betonzusammensetzung können auch mit potentiell reaktiven Gesteinskörnungen nicht reaktive Betone hergestellt werden.

In der Schweiz wird Beton vorwiegend mit Portlandzement CEM I und mit Portlandkalksteinzement CEM II/A-LL hergestellt. Ist es notwendig, das Risiko einer betonschädigenden AAR zu minimieren, kann anstelle der Zemente CEM I bzw. CEM II/A-LL andere CEM II-

*and curing), in order to minimize the risk of AAR damage to the concrete. In particular it is necessary to have a low w/z value, so that the resistance of the concrete to infiltrating water and salts remains high.*

**Constructional measures**

*The aim of constructional measures is to reduce or completely prevent the penetration of water into the interior of the concrete. By reducing the moisture content the risk of AAR damage decreases. Depending on the prevention level the following measures can be used individually or in combination with good effect:*

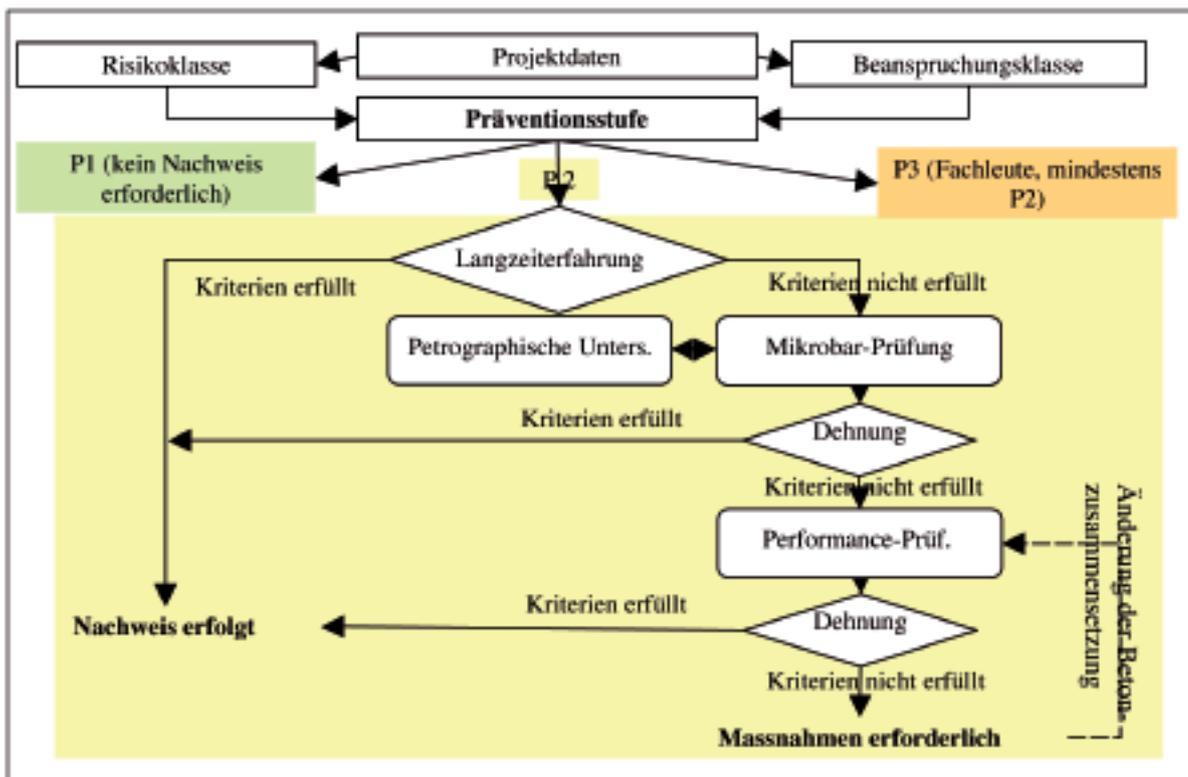
- *Installation of a well-functioning drainage system and/or a waterproofing system*
- *Application of a surface protection, e.g. protective layers*
- *Creation of an adequate gradient in the case of horizontal areas*
- *Planning and expert execution of expansion joints, to allow for volume changes without the formation of cracks*
- *Proper detailing of construction*

*joints, connections and penetrations (???)*

- *Choice of suitable reinforcing plan, in order to minimize and distribute cracks*

**Conclusions**

*With the big contracts for the Alp-Transit, AAR prevention was applied systematically for the first time in Switzerland. The concrete systems used with increased AAR resistance will have a positive influence on the durability of the structures. The testing methods used to determine the reactivity of the tunnel excavation material, of the aggregates and the concrete produced from it proved to be successful and have since then have also established themselves for other projects in Switzerland. In addition, experience has shown that especially with the use of additives in the concrete, attention must be paid to good mixing and a uniform and good quality of the additives. Additives, especially the different types of fly ash on the market are supplied with rather variable quality. The simultaneous grinding of cement slag and*



10 Flussdiagramm für Nachweise und Nachweisverfahren bei Verdacht einer betonschädigenden Alkali-Aggregat-Reaktion. Flow chart for determining the potential alkali-reactivity of concrete following the cemsuisse recommendations.

Typen eingesetzt werden. Dabei wird Zementklinker durch Zusatzstoffe wie Silicastaub, Flugasche oder Hochofenschlacke im Zement ersetzt. Ein noch höherer AAR-Widerstand kann durch einen Hochofenzement vom Typ CEM III/B erreicht werden.

Die betontechnologischen Massnahmen beinhalten aber nicht nur die Wahl einer geeigneten Betonzusammensetzung sondern auch eine sorgfältige Bauausführung (Einbau, Verdichtung und Nachbehandlung), um das Risiko einer betonschädigenden AAR zu minimieren. Insbesondere gilt es einen tiefen w/z-Wert einzuhalten, damit der Widerstand des Betons gegenüber eindringendem Wasser und Salzen hoch bleibt.

#### Konstruktive Massnahmen

Konstruktive Massnahmen haben zum Ziel, das Eindringen von Wasser in das Innere des Betons zu behindern oder vollständig zu verhindern. Mit abnehmendem Feuchtigkeitsgehalt sinkt das Risiko einer betonschädigenden AAR. Je nach Präventionsstufe können dabei die folgenden Massnahmen einzeln oder in Kombination wirkungsvoll eingesetzt werden:

- Einbau eines funktionierenden Drainagesystems und/oder Abdichtungssystem
- Auftrag eines Oberflächenschutzes, z.B. Beschichtungen
- Schaffung eines ausreichenden Gefälles bei horizontalen Flächen
- Planen und fachgerechte Ausführung von Dehnungsfugen, um Volumenänderungen rissfrei zu ermöglichen
- Fachgerechte Ausbildung von Arbeitsfugen, Anschlüssen und Durchdringungen
- Wahl eines geeigneten Bewehrungsplans, um Risse zu minimieren und zu verteilen

## Folgerungen

Mit den Grossprojekten AlpTransit wurde die AAR-Prävention in der Schweiz zum ersten Mal konsequent umgesetzt. Die eingesetzten Betonsysteme mit erhöhtem AAR-Widerstand werden sich positiv auf die Dauerhaftigkeit der Bauwerke auswirken. Die verwendeten Prüfverfahren zur Bestimmung der Reaktivität des Tunnelausbruchmaterials, der daraus produzierten Gesteinskörnungen und des Betons haben sich bewährt und haben sich seitdem in der Schweiz auch für weitere Projekte etabliert. Die Erfahrung hat auch gezeigt, dass insbesondere bei einer Zugabe der Zusatzstoffe im Betonwerk, auf eine gute Durchmischung und eine gleich bleibende und gute Qualität der Zusatzstoffe geachtet werden muss. Zusatzstoffe insb. Flugaschen werden zurzeit in sehr unterschiedlichen Qualitäten auf dem Markt angeboten. Die gemeinsame Vermahlung von Zementklinker und Zusatzstoffen im Zementwerk garantiert eine optimale Durchmischung und damit eine homogenere Verteilung.

Die AAR-Prävention ist nur ein Faktor von vielen, der zur Dauerhaftigkeit des Mehrkomponenten-Baustoffs Beton führt. Die Massnahmen zur Verhinderung einer betonschädigenden AAR greifen nur, wenn sämtliche betontechnologische Regeln eingehalten und eine grosse Erfahrungen sämtlicher am Bauwerk beteiligten Fachpersonen vorliegt. Die fortlaufende Überwachung sowohl der einzelnen Betonkomponenten (Gesteinskörnungen, Zement, Zusatzstoffe, Zusatzmittel), als auch des Frisch- und Festbetons vor Ort durch spezialisierte Bauherrenvertreter (Bauleitung) spielt eine zentrale

*additives in the concrete ensures an optimum mixing and thus a more homogeneous distribution. AAR prevention is only one among many factors that leads to a durable multi-component concrete material. The measures to prevent AAR concrete damage are only effective if all concrete technological requirements are fulfilled and there is wide experience with all those involved in the construction project. The continuous monitoring both of the individual concrete components (aggregates, cement, additives, admixtures and of the green or set concrete in situ by specialists employed by the client (site engineer) is a key factor in the monitoring and compliance with the defined concrete requirements.*

*The cemsuisse proposal for AAR prevention offers now the possibility of assessing other structures both with regard to the AAR risk in a uniform way for the whole of Switzerland and to implement any necessary measures.*

*There are still gaps in the state of knowledge in the area of AAR that however will have to be filled in the coming years:*

- *detailed information on the reactivity of the individual rock groups in Switzerland and petrographic description of the aggregates, which have contributed to AAR damage*
- *influence of the crushed aggregate content in a rounded (???) mix*
- *correlation between the microbar and concrete performance test.*
- *correlation between the concrete performance test and damage observed in practice*
- *suitable methods to measure in time and space the damage development of affected structures. Evaluation of suitable surface protection measures (e.g. hydrophobicity, application of layers) to increase the working life.*
- *Alternative additives for AAR prevention.*

Schlüsselstelle für die Überwachung und Einhaltung der definierten Betonanforderungen.

Der cemsuisse-Vorschlag zur AAR-Prävention bietet nun die Möglichkeit auch übliche Bauwerke hinsichtlich ihres AAR-Risikos einheitlich für die ganze Schweiz zu beurteilen und allfällige Massnahmen zu treffen.

Der Wissensstand im Bereich AAR weist jedoch noch Lücken auf die es in den folgenden Jahren zu schliessen gilt:

- detaillierte Angabe über die Reaktivität der einzelnen Gesteinsgruppen in der Schweiz und petrographische Beschreibung der Gesteinskörnungen, die an AAR-bedingten Schäden beteiligt waren
- Einfluss des Brechkornanteils in einem Rundgemisch
- Korrelation zwischen Mikrobar- und Beton-Performance-Prüfung.
- Korrelation zwischen Beton-Performance-Prüfung und Schäden in der Praxis
- Geeignete Verfahren zur zeitlichen und räumlichen Erfassung der Schadensentwicklung von betroffenen Bauwerken. Evaluation von geeigneten Oberflächenschutzmassnahmen (z.B. Hydrophobierungen, Beschichtungen) zur Verlängerung der Bauwerksnutzung.
- Alternative Zusatzstoffe zur AAR-Prävention.

**Autoren/Authors  
Alkali-Aggregat-Reaktion  
in der Schweiz**

**Thalmann Cédric**  
Dr. sc. nat. Ingenieurgeologe  
ETH/SIA/CHGeol  
B-I-G Büro für Ingenieurgeologie AG  
Dorfstrasse 10  
CH-3073 Gümligen  
cedric.thalmann@b-i-g.ch

**Pralong Jean**  
Dr. Ing. civil ETH  
Ingénieur Conseil  
CH-1950 Sion  
prasa@praing.ch

**Burdin Jacques**  
Ingénieur Conseil  
Rue Bonne de Bourbon 376  
F-73000 Chambéry  
jburdin.igc@wanadoo.fr

**Literatur/Literature**

[1] Regamey J.M., and Hammerschlag J.-G. (1995) Barrage d'Ilsee - assainissement. Research and development in the field of dams, Proceedins, Crans-Montana, Switzerland.

[2] Leemann A., Thalmann C., Kruse M. (1999) Gebrochene Zuschlagstoffe. Ergänzende Prüfungen zu den bestehenden Beton-Normen - Erfahrungen bei AlpTransit Gotthard. Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 24.

[3] Thalmann C. (2000) Schäden infolge Alkali-Aggregat-Reaktion. AAR - eine Gefahr für die Dauerhaftigkeit unserer Betonbauten? TFB-Fachveranstaltung 5. April 2000 und Cementbulletin 86, Heft 5 (2000).

[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] Thalmann C., Zingg J., Rytz G., Strahm K., Wyss Ch. (2001) Verhinderung von Betonschäden infolge Alkali-Aggregat-Reaktion. Tec21; 15/2001.

[6] cemsuisse (2005) Alkali-Aggregat-Reaktion in der Schweiz. Verband der Schweizerischen Cementindustrie, Bern.

[7] Leemann A., Thalmann C.; Studer W. (2004) AAR in underground structures of Switzerland - a survey. Proceedings of the 12th ICAAR, Beijing, China, 1071-1077.

[8] Forschungsauftrag AGB 2000/471 Schäden durch Alkali-Aggregat-Reaktion an Betonbauten in der Schweiz.

Veröffentlichung Frühjahr 2006.

[9] Thalmann C., Pralong J., Burdin J., Schmid H., Weiss R. (2004) AAR-Prävention for the world's longest tunnels - Alptransit Gotthard and Lötschberg in Switzerland. 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete. October 2004, Beijing.

[10] Kruse M., Schindler C., Thalmann C. (2003) Aggregates for high quality concrete and shotcrete made out of excavated rock material - experiences gained on the AlpTransit tunnel projects. Proceedings of industrial minerals and buildings stones in Istanbul.

[11] Thalmann C. (1996) Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen. Beiträge zur Geologie der Schweiz. Schweizerische Geotechnische Kommission. Lieferung 91, 1996.

[12] LCPC (1994): Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-reaction, Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transport, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris.

[13] Fournier B., Bérubé M.A., Rogers Ch., Canadian standards association (CSA) standard practice to evaluate potential alkali-reactivity of aggregates and to select preventive measures against alkali-aggregate reaction in new concrete structures, Proc. 11th ICAAR, Québec, Canada, 2000, 633-641.