



**Tunnelbau
und verankerte
Bauwerke**

**Tunnels
et structures
ancrées**

**Tunnels
anchored
structures**



Bruno Gugelmann

Einführung

In der Schweiz realisiert die AlpTransit Gotthard AG gegenwärtig eine Flachbahn durch die Alpen. Das Kernstück ist der 57km lange Gotthard-Basistunnel, der in fünf Hauptlose unterteilt ist (**Bild 1**). Die beiden Lose im Tessin, Bodio und Faido, wurden im Sommer 2001 an das Consorzio TAT vergeben. Die wichtigste Bauaufgabe besteht darin die beiden parallelen Tunnelröhren von insgesamt rund 30 km auszubrechen, zu sichern und zu verkleiden [1]. Im Los Bodio wird seit 2003 Sohlbeton und seit 2004 Verkleidungsbeton eingebaut und es konnten wichtige und wertvolle Erfahrungen gesammelt werden [2].

Betonsysteme

Der Bauherr AlpTransit hat zur Sicherstellung aller Anforderungen an den Beton schon 1996 ein umfassendes Präqualifikationsverfahren für Ort- und Spritzbeton gestartet [3]. Die Randbedingungen sahen vor: Alle Zuschlagstoffe sind aus dem Tunnelausbruchmaterial aufbereitet und werden durch den Bauherrn zur Verfügung gestellt, die Rezepturen müssen auch bei hohen Temperaturen am Einsatzort funktionieren, OB2 und SB2 müssen sulfatresistent sein und die Baustoffqualität muss grundsätzlich eine Lebensdauer des Bauwerks von 100 Jahren gewährleisten.

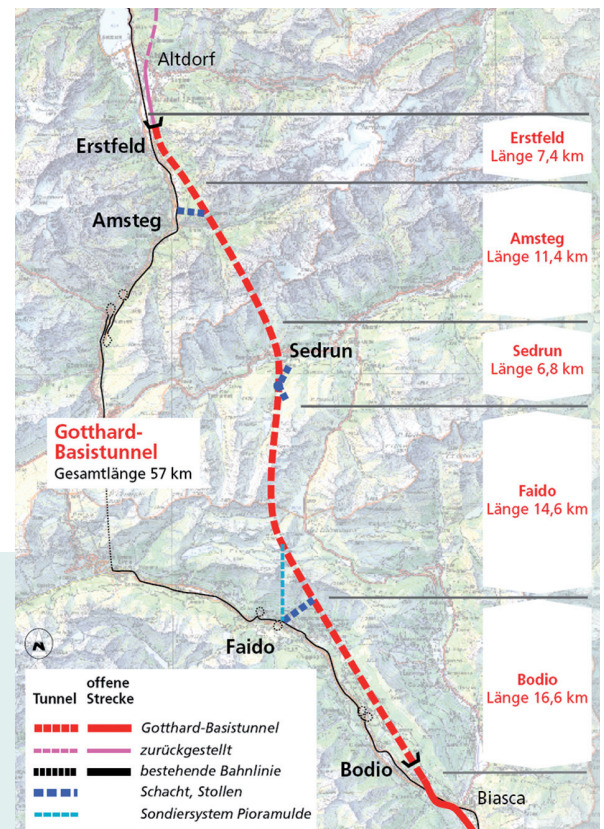
Aus den Versuchen gingen 5 Anbieterteams mit jeweils einer Anzahl zugelassener Mischungen hervor. Die Anbieter für die Tunnelbauarbeiten mussten sich für eines davon entscheiden und ihr Angebot auf dessen jeweiligen Mischungen aufbauen. Das Consorzio TAT entschied sich für den Systemanbieter Holcim/Sika und übertrug Holcim auch die gesamte Betonproduktion [4].

Sohlbeton

Die Baustelle hat zusätzliche Anforderungen an den Beton, die nicht deckungsgleich sind mit den vom Bauherrn in der Zulassungsphase formulierten Kriterien; insbesondere verlagert sich das Anforderungsprofil stark von der Qualität des Endproduktes hin zu den Eigenschaften des Frischbetons, beziehungsweise zum Abbindeverhalten des jungen Betons. Der Beton muss grundsätzlich:

Introduction

In Switzerland the AlpTransit Gotthard AG is currently constructing a low level railway tunnel through the Alps. The main part is the 57km long Gotthard Base Tunnel, which is divided up into 5 main contract sections (**figure 1**). The two contract sections in Ticino, i.e. Bodio and Faido, were awarded in summer 2001 to the Consorzio TAT. The most important part of the work involves driving, supporting and lining the two parallel tunnel tubes totalling around 30 km [1]. In the section Bodio, since 2003 the concrete invert and since 2004 the concrete lining has been constructed and important and valuable experience was made [2].



1
Übersicht
Gotthard
Basistunnel
Overview of
Gotthard Base
Tunnel

- bei der Produktion eine weiche Konsistenz aufweisen, um ohne Schwierigkeiten in die schienen- gebundenen Nachmischer einge- füllt zu werden (**Bild 2**).
- eine sehr lange Offenzeit auf- weisen, damit er nach dem lan- gen Schienentransport mittels Pumpe sicher in die Schalung eingebracht werden kann.

Concrete Systems

To ensure that all requirements placed on the concrete are fulfil- led, the owner (AlpTransit) initia- ted already in 1996 a compre- hensive pre-qualification method for the in situ and sprayed concrete [3]. The specified conditions were: all aggregates shall be obtained from the tunnel spoil material and



2

Betonbezug
unter der
Mischanlage
Concreting
train under the
batching plant

- nach dem Füllen der Schalung eine rasche Festigkeitsentwick- lung aufweisen, damit der Aus- schalzeitpunkt mit dem vorgese- henen Bauablauf kompatibel ist.
- Beim Start der TBM-Vortriebe 2003 in Bodio, wo einerseits Spritzbeton für die Felssicherung und anderer- seits Ortbeton für die Sohle einge- setzt wird, ergaben sich sofort namhafte Probleme mit dem Sohl- beton. Nebst der teilweise noch ungenügenden Erfahrung des Per- sonals und nicht optimal abge- stimmten Baustelleneinrichtungen war der Grund eindeutig in der Betontechnologie / Betonproduk- tion zu suchen. Der Spritzbeton verhielt sich viel «gutmütiger» und hat keine wesentlichen Schwierig- keiten verursacht; dieser Themen- bereich wird daher im folgenden Text nicht weiter behandelt.

shall be provided by the owner, the mix designs must also perform adequately at high temperatures in situ, the OB2 and SB2 must be sulphate-resistant and the materi- al quality must basically guaran- tee a working life of the structure of 100 years.

From the test results 5 tendering teams emerged as winners, each with a number of admissible mix designs. The bidders for the tun- nelling work had to decide upon one of them and prepare their offer on the basis of their mixes. The Consorzio TAT opted for the system tendered by Holcim / Sika and commissioned Holcim also with the complete concrete pro- duction [4].

Concrete for the Invert

The construction site places addi- tional requirements on the con- crete, which do not correspond completely with the criteria for- mulated by the owner in the approval phase; in particular the job specification shifted greatly from the quality of the end pro- duct to the properties of fresh concrete, or rather to the setting behaviour of the fresh concrete. Basically the concrete must:

- exhibit a softy consistency during production, in order to be able to fill the rail-bound transport mixer (**Figure 2**) with- out any difficulties.
- exhibit a very long setting time, so that after the lengthy trans- port it can be easily placed in the formwork using a pump.
- exhibit a rapid strength develop- ment (hardening) after place- ment in the formwork, so that the time for striking the forms is compatible with the planned construction sequence.

At the start of the TBM drive in 2003 in Bodio, where shotcrete was used for the rocksupport lining and in situ concrete for the invert, straightaway considerable problems were encountered with the concrete for the invert. Apart from the partly still rather inexpe- rienced personnel and less than optimally coordinated site instal- lations the reason was clearly to be found in the concrete techno- logy/concrete production. The shotcrete performed much more «benignly» and did not cause any major problems; thus there is no further discussion of this topic below.

Analysis and new requirements

The OB1 on the basis of an admis- sible mix with CEM III/A-L 32.5R (Fluvio) proved to be unsuitable for use under the given condi- tions. The consistency was not suffi- ciently uniform (usually too stiff) and the hardening was too slow, which led to delays in the work of striking the forms for the invert.

Analyse und neue Vorgaben

Der OB1 auf Grundlage einer zugelassenen Mischung mit CEM II/A-L 32.5R (Fluvio) erwies sich für den Praxiseinsatz unter den gegebenen Bedingungen als untauglich. Die Konsistenz war zu unregelmässig (in der Regel zu steif), beziehungsweise die Festigkeitsentwicklung zu langsam, was Verzögerungen beim Ausschalen der Sohle mit Behinderungen im Bauablauf zur Folge hatte.

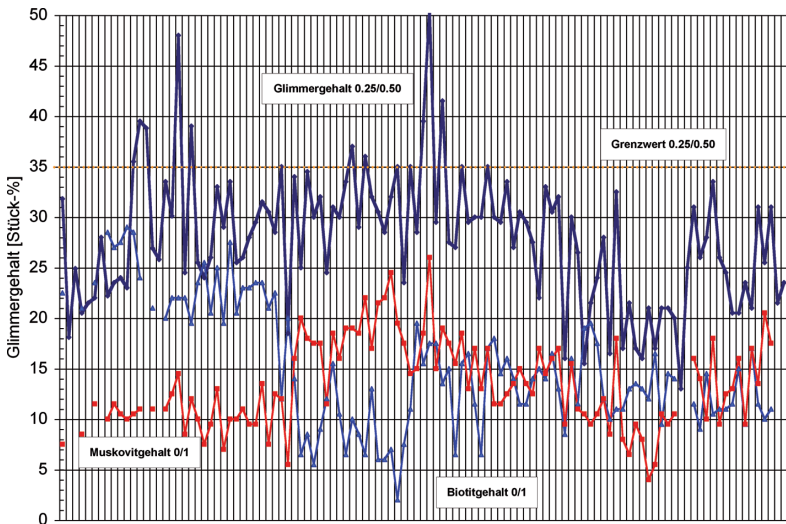
Die Eigenschaften der Zuschlagstoffe zeigten grosse Schwankungen (Wassergehalt des Sandes; Glimmergehalt (**Bild 3**), Siebkurven), was eine konstante Betonproduktion stark erschwerte. Zulässige Eigenschaften der Zuschlagstoffe siehe **Tabelle 1**.

Bedingt durch die petrografischen Eigenschaften der Leventinagneise sind die Zuschlagstoffe stark glimmerhaltig. Zulässig sind in der aufbereiteten Sandfraktion, gemessen an der Unterfraktion 0.25–0.50 mm 35 Stückprozent von Schichtsilikaten (hier insbesondere Muskovit und Biotit). In der Norm SIA 162/1 sind für einen Beton B 30/20 oder höherwertig bis zu 5 Massenprozent im Zuschlag erlaubt; nach Norm SN 670 130 sind bei Zuschlägen für Betonbeläge in der Fraktion < 3mm nur 5 Stückprozent zulässig [5]. Zu diesem neuen, sehr hohen Richtwert von 35 Stückprozent, der zudem in Einzelfällen noch um 20% überschritten werden darf, gibt es in der Schweiz nur eine Untersuchung an der EMPA [6], aber keinerlei praktische Erfahrungen. Die Schichtsilikate beeinflussen anerkanntermassen die Verarbeitbarkeit von Frischbeton negativ; bei starken Schwankungen des Glimmeranteils wirkte sich dies auf die Betonproduktion unter den gegebenen Bedingungen in Bodio in schwerwiegender Weise aus.

*The properties of the aggregates exhibited large variability (water content of the sand; mica content (**figure 3**), sieve curves), which greatly impaired a uniform concrete production. For admissible properties of the aggregates see **Table 1**.*

Because of the petrographic properties of the Leventina gneisses the aggregates contain a large amount of micaceous material. In the processed sand fraction, measured on the sub-fraction 0.25 - 0.50 mm 35 percent (piecewise) of the sheet silicates (here especially muscovite and biotite) are admissible. In the code SIA 162/1 for concrete B 30/20 or higher, up to 5 percent (by mass) is allowed; according to the standard SN 670 130 pertaining to allowances for concrete roads, in the fraction < 3mm only 5 percent (piecewise) is admissible [5]. For this new, very high standard value of 35 percent (piecewise), for which in some cases another 20% exceeding is permitted, just one investigation has been carried out by the EMPA [6] in Switzerland, but there is no practical experience whatsoever. The sheet silicates, as is well known, have a negative influence on the workability of fresh concrete; the strong variations of the mica content affects the concrete production under the given conditions in Bodio in a large way.

3
Schankungen des
Glimmergehalts
im Sand über
ein Jahr
Variation of mica
content in the
sand over one
year



Ein weiteres kritisches Element ist der Feinsand 0/1mm; bei Schwankungen der Sieblinie, z.B. bei ungenügendem Mehlkornanteil oder bei erhöhtem Anteil der Feinstanteile <0.063 mm führt dies unweigerlich zu Schwierigkeiten. Um die Produktion besser in den Griff zu bekommen, hat TAT mit dem eigenen Betontechnologen die Vorgaben an die Produktion neu definiert. Es wurde festgehalten:

- Ausbreitmass an der Betonanlage
- Temperatur der Mischung
- Offenzeit
- Ausbreitmass an der Einbaustelle
- Ausschalzeit und Ausschalfestigkeit

Another critical element is the fine sand 0/1mm; with variations of the gradation, e.g. in the case of an insufficient fines content or of an increased percentage of fines <0.063 mm, this inevitably leads to problems. In order to master the production process, the Consorzio TAT with its own concrete specialist redefined the production requirements. The following were specified:

- slump in the concrete plant
- temperature of the mix
- setting time
- slump at the construction site
- time of striking forms and corresponding strength

Eigenschaft
der Gesteins-
körnungen
Properties of
aggregates

Kriterien	Prüfnorm	Kennwert / Nachweis	Einheit	Bemerkung
Los Angeles Index	prEN 1097-2	40	[-]	Richtwert
Petrografisch ungeeignete Komponenten	nach Definition AlpTransit, angelehnt an SIA 162/1	5	[Gew-%]	Richtwert
Freie Schichtsilikate im Sand 1/4 mm 0/1 mm 0/4 mm	nach Definition AlpTransit und EMPA (Bestimmung an Fraktion 0.25 - 0.50)	5	[Stk-%]	Richtwert
		35	[Stk-%]	Richtwert
		35	[Stk-%]	Richtwert
Siebanalysen Sand 0/1 und 1/4	SIA 162.311	typische Sieblinie im zulässigen Bereich		Muss-Kriterien
	nach Definition AlpTransit und EMPA; angelehnt an prEN 12620	90% der Sieblinien Produktionsbandbreite		Muss-Kriterien
Siebanalyse Splittfraktionen 4/8, 8/16, 16/22	SIA 162.311	90% der Sieblinien Normsieberlinienbereich nach SN 670 130		Muss-Kriterien
Kornform Splittfraktionen 4/8, 8/16, 16/22	prEN 933-6 (Plattigkeitsindex)	35	[-]	Richtwert
Rohdichte	prEN 1097-6 / SN 670 335a			orientierender Nachweis
Wassergehalt	prEN 1097-6			orientierender Nachweis



4

Die Betonier-
einrichtung
vor dem Tunnel-
portal (Wurm)
Equipment for
concrete lining
at the tunnel
entrance (worm)

In Zusammenarbeit mit Holcim und Sika wurden sowohl im Labor als auch auf der Baustelle Mischungen erprobt und die Resultate ausgewertet. Schliesslich wurden Rezepturen definiert, die auch für OB1 neu CEM II/A-D 52.5R (Fortico) sowie weiterentwickelte Fließmittel auf der Grundlage von Polycarboxylaten (Viscocrete AT-306) enthalten (Betonmischungen siehe **Tabelle 2**). Des Weiteren wurde darauf eingewirkt, dass die Zuschlagstoffe vom Bauherrn mit möglichst geringen Schwankungen produziert werden. Auch an der Betonanlage wurde mit entsprechenden Prozeduren auf möglichst gleichmässige Produktionsparameter hingearbeitet. Seither erfolgt der Sohleinbau ohne Schwierigkeiten und mit der erforderlichen Kadenz.

Betonieren des Innenrings

Installation «Wurm»

Seit 2004 wird parallel zu den TBM-Vortrieben im Tunnel auch der Innenringbeton eingebracht. Diese Baustelle besteht aus einer Vielzahl von Arbeitsschritten; das Betonieren soll aber die Ver- und Entsorgung der TBM möglichst wenig behindern und dazu muss

dem arbeitenden Personal in diesem Bereich die grösstmögliche Sicherheit geboten werden. All diese Anforderungen haben dazu geführt, dass TAT eine weltweit einmalige rund 600 m lange Installation (Wurm) entwickelt hat, um den Gewölbebeton einzubringen (**Bild 4**), [7].

Erfahrungen

In umfassenden Versuchen wurden die Mischungen noch weiter verfeinert und optimiert. Es bestätigte sich, dass nur mit Fortico-Zement (CEM II/A-D 52.5R) und mit einer nochmaligen Verbesserung des Zusatzmittels (Viscocrete AT-507) zielführende Lösungen für Betone mit ausreichender Offenzeit und gleichzeitig einer schnellen Frühfestigkeitsentwicklung zu erreichen waren.

Heute sind in den Tunnels gleichzeitig sieben Baustellen in Betrieb, die mit Beton und Spritzbeton versorgt werden müssen. Es werden monatlich Betonmengen zwischen 16'000 und 18'000 m³ produziert und erfolgreich eingebaut. Es zeigt sich, dass das System nur mit «toleranten», mit ausreichendem Vorhaltemass produzierten Rezepturen in der Lage ist, alle Schwankungen der Materialeigenschaften und der Einflussparameter wie Temperatur, Transportzeiten etc. ausreichend abzudecken.

*In collaboration with Holcim and Sika tests were carried out on mixes both in the laboratory and in situ and the results were evaluated. Finally the mix designs were defined, which for the OB1 also include CEM III/A-D 52.5R (Fortico) as well as further developed superplasticizer on a polycarboxylate (Viscocrete AT-306) basis (for concrete mixes see **Table 2**). In addition, it was requested that the aggregates produced by the owner exhibit as little variation as possible. Also, in connection with the concreting plant, we worked towards obtaining, by means of appropriate procedures, as uniform production parameters as possible. Since then the invert could be constructed without any difficulties and at the required rate.*

Concreting the Inner Lining

Installation «Wurm»

*Since 2004 the tunnel's concrete inner lining is being placed at the same time as the TBM drives. This construction site consists of a variety of working stages; the concreting work however should not hinder significantly the supply and removal of the TBM and moreover the workers in this area should be provided with the best possible safety. All these requirements have meant that the Consorzio TAT had to develop an unparalleled 600 m long installation (Wurm), to allow the concrete lining to be placed (**figure 4**), [7].*

Experiences

In numerous tests the mixes were further refined and optimized. It was confirmed that only with Fortico cement (CEM III/A-D 52.5R) and further improvement of the admixture (Viscocrete AT-507) could solutions be achieved for concretes with a long enough setting time and at the same time a rapid early strength development.

Gebräuliche
Betonmischung
Current
concrete mixes

Betonmischungen			Ausgangs- mischung OB1 P 7221	Ausgangs- mischung OB2 P 7311	Sohlen- beton OB2 510021	Gewölbe- beton OB1/OB2 510 024	Beton 0 -16mm OB1/OB2 512 002	PPF- Beton OB1/OB2 511 091
Klassierung			B 40/30 FF, W	B 40/30 FF, W, HS	B 40/30 FF, W, HS	B 40/30 FF, W, HS	B 40/30 FF, W, HS	B 40/30 FF, W, HS
Zement	CEM II/A-L 32.5R CEM II/A-D 52.5R	[kg/m³]	360	375	375	375	375	375
Zusatzmittel	Sika ViscoCrete AT 6	[kg/m³]	6.12	5.63				
	Sika Tard AT 11	[kg/m³]	0.54	0.56				
	Sika Pump AT 31	[kg/m³]		1.88				
	Sika ViscoCrete AT 306	[kg/m³]			4.5			4.88
	Sika ViscoCrete AT 507	[kg/m³]				4.5	4.5	
Flugasche	Hydrolent	[kg/m³]					50	50
PP-Fasern	Fibermesh 150-6	[kg/m³]						2
Gesteinskörnung		[kg/m³]	1820	1820	1796	1804	1715	1732
	0 - 3 mm	[%]	10	10				
	0 - 4 mm	[%]	35	35				
	0 - 1mm	[%]			21	23	21	20
	1 - 4 mm	[%]			20	18	28	21
	4 - 8 mm	[%]	5	5	12	10	24	8
	8 - 16 mm	[%]	10	10	20	21	27	23
	16 - 22 mm	[%]	40	40	17	28	0	28
W/Z		[-]	0.5	0.48	0.52	0.52	0.52	0.52
Ausbreitmass	(bei der Herstellung)	[mm]	575	470	550	550	540	540

Trotzdem kam es gelegentlich beim Beton zu Phänomenen wie unkontrolliertes, schnelles Ansteifen oder im Gegenteil zu einer spontanen Verflüssigung mit teilweiser Entmischung, die mit unserem bisherigen Wissen nicht in Einklang zu bringen sind. Vertiefte Untersuchungen zur Interaktion von Glimmer und Feinstanteilen des Sandes mit den Zusatzmitteln oder dem Zement sind bei Holcim noch im Gang.

Ausblick/ Zusammenfassung

In Bodio hat das Consorzio TAT bemerkenswerte Leistungen vollbracht: Insgesamt über 20 km TBM-Vortrieb und mehr als 12 km Tunnelverkleidung (**Bild 5**) wurden erzielt (Stand Nov. 2005). Die verlangten Festbeton-Eigenschaften wurden stets problemlos erreicht und übertroffen. Die Forderungen des Bauherrn nach einem qualitativ einwandfreien und dauerhaften Bauwerk werden vollumfänglich erfüllt. Nebst der Betontechnologie stellen möglichst konstante Produktionsparameter und eine einwandfrei funktionierende Logistik den Schlüssel zum Erfolg dar. Nebenbei wurden auf Verlangen des Bauherrn zusätzliche Betonrezepturen mit Polypropylenfasern, beziehungsweise mit Grösstkorn 16 mm, anstelle der üblichen 22 mm, entwickelt. In beiden Fällen konnte die Lösung durch die Beimischung von Flugasche erreicht werden.

In the tunnels there are currently seven construction sites in operation simultaneously that have to be supplied with concrete and shotcrete. Each month concrete volumes from 16'000 to 18'000 m³ are produced and successfully placed. It is shown that only by producing «tolerant» design mixes with adequate margin that it is possible to deal with all variations of material properties and influence parameters like temperature transport times, etc., by having «tolerant» design mixes produced with an adequate margin of concrete cover.

Nevertheless, the concrete occasionally exhibits phenomena such as uncontrolled rapid stiffening or on the contrary spontaneous flexidizing with partial sequeqation, which is not in accord with previous experience. More detailed investigations on the interaction of mica and the fines in the sand with the admixtures or with the cement are currently being undertaken by Holcim.

Outlook/Summary

*In Bodio the Consorzio TAT has achieved remarkable performances: In total over 20 km TBM drive and more than 12 km tunnel lining (**figure 5**) were reached (Stand Nov. 2005). The required properties of the hardened concrete were always reached or exceeded without any problems. The owner's requirements of a high quality and durable structure*

5

Fertig
verkleideter
Tunnel
*Finished
tunnel lining*



Autor / Author

Bruno Gugelmann
Dipl. Bauing ETH/SIA
Baustellendirektor Consorzio TAT
Casella postale 5
CH-6742 Pollegio
bruno.gugelmann@tat-ti.ch

Referenzen / References

- [1] P. Teuscher, P. Zbinden; Die AlpTransit-Projekte am Lötschberg und am Gotthard, Betonbau in der Schweiz, SIA für fib-CH, 2002.
- [2] O. Böckli; Bodio - Erfahrungen nach der Vortriebshälfte, Swiss Tunnel Congress 2005, Fachtagung für Untertagbau, Luzern.
- [3] H.C. Schmid; Betonsysteme: Überblick / Umsetzung / spezielle Probleme, AlpTransit-Tagung 2002, Fachtagung für Untertagbau, Thun.
- [4] M. Keller; Betonproduktion mit strengen Vorgaben, AlpTransit-Tagung 2003, Fachtagung für Untertagbau, Locarno.
- [5] A. Leemann, C. Thalmann, M. Kruse; Gebrochene Zuschlagstoffe, Ergänzende Prüfungen zu den bestehenden Beton-Normen - Erfahrungen bei AlpTransit Gotthard, Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 24, 1999.
- [6] A. Leemann, W. Studer; Die Auswirkungen von freien Schichtsilikaten im Zuschlag auf die Eigenschaften von Mörtel und Beton, EMPA Untersuchungsbericht Nr. 166'184, 1998.
- [7] S. Wallis; Maximising the advantage, Tunnels & Tunneling International, December 2004.

Die Anwendung des Betonsystems, die Änderung von Betonrezepturen und die Eigenschaften der vom Bauherrn gelieferten Gesteinskörnungen haben zu einigen werkvertraglichen Diskussionen mit dem Bauherrn geführt, die kürzlich einer einvernehmlichen Lösung zu geführt werden konnten.

Ohne den entscheidenden Input unseres Betontechnologen und einer pragmatischen, zielorientierten Zusammenarbeit aller Beteiligten bei der Verbesserung der Betonrezepturen wären die heutigen Leistungen nicht möglich gewesen.

have been completely fulfilled. Besides the concrete technology, very uniform production parameters and a fully functioning logistics are the key to success.

In addition, at the request of the owner, further concrete mix designs with polypropylene fibres and with a maximum aggregate size of 16 mm instead of the usual 22 mm have been developed. In both cases the solution could be obtained by admixing fly ash.

The application of the concrete system, changing the concrete mix designs and the properties of the aggregate supplied by the owner led to some contractual discussions with the owner, which could recently be ironed out with a solution acceptable to both sides.

Without the decisive input of our concrete specialists and a pragmatic, goal-oriented cooperation of all parties involved in improving the concrete mix designs the present performances would not have been possible.

Franz Fischli, Peter Romer



1

Verankerte
Betonriegel
unter der Case-
lertobelbrücke:
die Ankerreihen
mit Schutzdach
stammen aus
dem Jahr 2003,
die andern
Anker von 1991.
*Anchored con-
crete retaining
walls beneath
the Caselertobel
Bridge: the
anchors with a
canopy are from
the year 2003,
the others from
1991*

Project data

Client

Canton of Grisons, Chur

Consultant, Expert

Dr. Vollenweider Ltd., Zürich

Project Management

Canton of Grisons, Chur

Contractor: Mettler Sons Ltd., Chur
(subcontractor to Ing. Greuter Ltd.)

Drilling Contractor

Ing. Greuter Ltd., Hochfelden

Anchor Contractor

VSL (Switzerland) Ltd., Subingen

Construction

Autumn 2003

Einleitung

Die Caselertobelbrücke ist eine der zahlreichen Brücken zwischen Thusis und Tiefencastel (Kt. Graubünden), die nur mittels umfangreicher Verankerung der Fundamente eine genügende Stabilität aufweist. Dieser Strassenabschnitt entlang der Schinschlucht garantiert den wintersicheren Zugang ins Oberhalbstein und nachfolgend über den Julier ins Engadin und damit in touristisch wichtige Gebiete.

Der Grund für die schon zum zweiten Mal notwendig gewordenen

Sicherungsmaßnahmen liegt darin, dass die Schinstrasse in diesem Abschnitt ein aktives Rutschgebiet durchquert. Die Brücke über das Caselertobel liegt in einer Hangrutschzone mit einem Bewegungsmass zwischen 18 bis 35 mm pro Jahr. Der Rutschhang verursacht immer wieder Schäden an den bestehenden Kunstbauten. Die Caselertobelbrücke ist das am akutesten gefährdete Bauwerk, angrenzende Strassenabschnitte bedürfen ebenfalls baldiger Stabilisierungsmassnahmen.

Introduction

The Caselertobel Bridge is one of the numerous bridges between Thusis and Tiefencastel (Canton of Grisons) that exhibits sufficient stability solely due to extensive anchoring of their foundations. This section along the Schin Canyon guarantees the winterproof access to the Oberhalbstein and over the Julier Pass and thus, into touristically important regions.

The reason for new additional safety measures is the fact that the road along the Schin Canyon crosses an active area of slides. The bridge over the Caseler Gorge is situated in an unstable slope zone with movements measuring 18 to 35 mm per year. The slides continually cause danger to existing engineering structures and the Caselertobel Bridge is the one with the highest risk potential, while adjacent road sections will soon need slope stabilisation measures as well.

Projektdaten**Bauherr**

Tiefbauamt Graubünden, Chur

Planer, Berater

Dr. Vollenweider AG, Zürich

Bauleitung

Tiefbauamt Graubünden, Chur

Bauunternehmer

Mettler Söhne AG, Chur

(Subunternehmer von Ing. Greuter AG)

Bohrunternehmer

Ing. Greuter AG, Hochfelden,

Auftragnehmer des Bauherrn

Ankerunternehmer

VSL (Schweiz) AG, Subingen

Bauausführung

Herbst 2003

**Verankerungsmassnahmen
im Jahr 1991**

Die im Jahr 1991 durchgeführten Ankerarbeiten hatten folgende Charakteristik:

- Anzahl: 36 Stück, alles regulierbare Messanker
- Typ der Anker: permanent gemäss SIA V 191, mit je 9 polyäthylenumhüllten und gefetteten Litzen 0.5" (100 mm²), ausinjiziert mit Zementinjektionsgut
- Kapazität: Ftk = 1640 kN, Po = 400 kN (= 24.4 % Ftk)
- Länge: zwischen 50 m und 60 m

Die Verankerung war auf das Rutschverhalten des Hanges ausgerichtet und erlaubte eine stufenweise Reduktion der stetig zunehmenden Tragkraft der Anker. Die Reduktion der Ankertraglast ist durch die Tragkraftablassbarkeit des VSL-Ankers vom Typ EA gewährleistet.

Die Anker wurden in mehr oder weniger regelmässigen Intervallen jeweils auf eine Kraft von ca. 800 kN abgelassen. Aufgrund der Resultate der Messanker zeichnete sich ab, dass zusätzliche Anker notwendig sein würden.

Anchoring Measurements in 1991

The anchor work carried out in 1991 had the following characteristics:

- Number: 36, all of them adjustable measuring anchors
- Type of anchors: permanent according to SIA V 191, each with 9 polyethylene coated and greased strands 0.5" (100 mm²), injected with cement grout
- Capacity: Ftk = 1640 kN, Po = 400 kN (= 24.4 % Ftk)
- Length: between 50 m and 60 m

The anchorage was designed to cope with the sliding behaviour of the slope and allows a step by step reduction of the continually increasing bearing load of the anchor. The reduction of the load is ensured by the characteristics of the VSL anchorage type EA which allows the load to be totally released.

The anchors were reduced in incremental steps to a load of approximately 800 kN. Based on the results of the anchor measurements it became evident that additional anchors would be necessary.

**2**

Die Bohrungen erfolgten von einer 12 m x 7 m grossen Plattform aus
Drilling was carried out from a 12 m x 7 m big platform

Das Projekt aus dem Jahr 2003

Die Hangsicherung bei den beiden Hauptpfeilern der Brücke wurde durch Betonriegel sichergestellt. Die in diesem 30° bis 35° steilen Hang erstellten Riegel sind rund 2.2 m hoch und bis zu 12 m lang und sind mit je 10 bis 12 Ankern stabilisiert. Die Planer und Bauingenieure entschlossen sich, die Verankerung aus dem Riegel vorstehen zu lassen, damit spätere Korrekturmöglichkeiten auf einfache Art gewährleistet sind. Um die ca. 100 cm aus den Betonriegeln vorstehenden Anker und die Ankerköpfe vor Steinschlag zu schützen, wurden die Riegel mit einem ca. 130 cm breiten Vordach ergänzt.

Die Anker für diese Hangsicherung haben folgende Merkmale:

- Anzahl: 3 Versuchsanker (später als Bauwerksanker integriert) und 57 Bauwerksanker
- Typ der Anker: permanent/elektrisch isoliert nach SIA V 191 (heute SIA 262), wie oben jedoch mit 12 Litzen
- Kapazität: $R_i = 2184 \text{ kN}$, $P_o = 1310 \text{ kN}$ (60% Ptk)

- Längen: 35 m bis 59 m
- Besonderes:
 - 6 Anker sind regulierbare Messanker (+50 mm / -300 mm) und 44 Anker sind als Kontrollanker ausgebildet.
 - Alle Anker sind mit einem mehrfachen Nachinjektionssystem ausgerüstet.

Mit diesen Massnahmen soll die Verschiebungsgeschwindigkeit des Hanges in diesem Abschnitt der Schinschlucht auf 2 bis 3 mm pro Jahr reduziert werden. Die Nutzungsdauer der Hangsicherung beträgt 50 Jahre.

Installationen

Die Bauarbeiten wurden von oben nach unten ausgeführt. Um diese sauber und fachgerecht ausführen zu können, war es wichtig, dass in diesem steilen Gelände bei jedem Widerlager eine Plattform von 12 x 7 m aufgebaut und umgesetzt wurde. Um die verrohrten Bohrungen mit einem Durchmesser von 178 mm auf 60 m vortreiben zu können wurde ein Raupenbohrgerät von 13

The Project of 2003

The stabilizing of the slope at the main piers of the bridge was by means of concrete retaining walls. The retaining walls in the 30° to 35° steep slope are 2.2 m high and up to 12 m long and are stabilized by 10 to 12 anchors each.

The consultants decided to have the anchorage protrude from the retaining wall to allow for future adaptations in an easy manner. To protect the protruding anchors and anchorages from falling rocks the retaining wall was augmented by a 130 cm wide canopy.

The anchors for the slope protection had the following characteristics:

- Number: 3 test anchors (later integrated as working anchors) and 57 working anchors
- Type of anchors: permanent / electrically isolated according to SIA V 191 (today SIA 262), as above but with 12 strands
- Capacity: $R_i = 2184 \text{ kN}$, $P_o = 1310 \text{ kN}$ (60% Ptk)
- Lengths: 35 m to 59 m
- Features: 16 anchors were



3

Einbau des bis zu 59 m langen Ankers
Homing of the 59 m long anchor

to mit Doppelkopfausrüstung und Luftspülung eingesetzt. Ein kontinuierlicher Arbeitsablauf war insofern schwierig, da mit den Aushubarbeiten für das untere Widerlager erst begonnen werden konnte, wenn die Anker am oberen Widerlager gespannt waren.

Abläufe

Die angetroffene Bodenbeschaffenheit beim Bohren der Anker entsprach den in den Ausschreibungsunterlagen enthaltenen Angaben: 0–ca. 20 m Gehängeschutt, 20–35/45 m versackter Bündnerschiefer und 45–60 m Bündnerschiefer.

Die Bohrung im Bereich der Verankerungslänge, der Einbau der Anker und die Primärinjektion mussten innerhalb eines Arbeitstages ausgeführt werden. Es wurden 6 Bohrlochvermessungen durchgeführt. Die Bohrergenauigkeit lag bei allen sechs gemessenen Böhrlöchern unter dem vorgegebenen Toleranzwert. Bei den Bohrungen mit geringer Neigung von 5 bis 7 Grad musste der Anker mit einer speziellen Seilwinde eingebaut werden.

Alle Injektionen wurden mit Sulva-Cem Zement und expandierendem Zusatzmittel ausgeführt. Es war zwingend notwendig 3 bis 5 mal nachzuinjizieren.

Beim obersten Riegel wurden die 3 Versuchsanker eingebaut, die nach erfolgreicher Prüfung als Bauwerksanker integriert wurden. Die Versuche wurden genau 10 Tage nach der letzten Nachinjektion der Verankerungslänge durchgeführt. Normgemäss wurden die Spannproben für die Bauwerksanker frühestens 10 Tage nach der letzten Nachinjektion durchgeführt.



4

Die Ankerver-
suche wurden
mit einer
grosshubigen
Presse durch-
geführt
*For the test
anchors an
extra long
stroke jack
was used*

adjustable measuring anchors (+50 mm/-300 mm) and 44 were controllable

- *all anchors were equipped with a multiple post-injection system. With these measures the rate of creep movement of the slope in this area of the Schin Canyon should be reduced to 2 to 3 mm per year. The service life of the slope protection is 50 years.*

Installations

The works were carried out from top to bottom. To carry them out properly and professionally in this steep terrain it was essential to build up a 12 x 7 m movable platform. To drill down to 60 m with a casing of 178 mm diameter, a crawler base driller of 13 tonnes with a double head drilling device and air flushing was used. A continuous work procedure was difficult as excavation work for a lower abutment could only start when the anchors of the upper abutment were stressed.

Work procedures

The soil conditions encountered during drilling corresponded to those specified in the submission documents: 0 to approx. 20 m slope material, 20 to 35/45 m creeping Grisons slate (Bündner schist) and 45 to 60 m Grisons slate (Bündner schist).

The drilling of the bond length, the homing of the anchor as well as the primary injection had to be carried out on the same working day. Six borehole measurements were carried out. The drilling accuracy of all six drilling holes were within the specified tolerances. Drilling of a hole with an angle of 6 to 7 degrees necessitated the use of a special winch.

All injections were carried out with a Sulva-Cement and an expanding additive. It was necessary to reinject 3 to 5 times.

Three test anchors were built in at the highest retaining wall. After successful testing they were integrated as working anchors. The tests were performed exactly 10 days after the last reinjection. As specified by the Swiss Standard the verification tests for the working anchors took place 10 days after reinjection at the earliest.

Electrically-isolated anchors

Electrically-isolated anchors have been state-of-the-art for more than 20 years in Switzerland. They proved to be a success. The method defines the quality of the corrosion protection and also the durability of an anchor by taking the electrical resistance between



5

Anker der Generation 2003: total 16 regulierbare Messanker und 44 Kontrollanker mit einem Regulierbereich von +50 mm bis -300 mm
Anchors of 2003: a total of 16 adjustable measuring anchors with a range between +50 mm and -300 mm

Elektrisch isolierte Anker

Elektrisch isolierte Anker sind in der Schweiz schon seit mehr als 20 Jahren Stand der Technik und haben sich bewährt. Die Methode definiert die Qualität des Korrosionsschutzes und damit der Dauerhaftigkeit des Ankers dadurch, dass sie den elektrischen Widerstand zwischen dem Stahlzugglied bzw. Ankerkopf und dem Baugrund bzw. Bauwerk als Kriterium für die Dichtheit der korrosionsverhindernden Umkapselung des Ankers und die Isolation zwischen dem Ankerkopf und dem Bauwerk nimmt.

Wird bei einem gespannten und fertig injizierten Anker ein minimaler Widerstand von 0.1 Megaohm gemessen, gilt die Kunststoffumhüllung und die Isolation als dicht genug, um Schäden von chemischen Angriffen und Streuströmen zu verhindern. Die Wirksamkeit der Methode verlangt einen robusten und sorgfältig zusammengebauten Anker und eine qualitätsbewusste Bohrfirma mit einer gut ausgebildeten Baustellenequipe.

Die Methode der elektrisch isolierten Anker ist auch integrierender Teil der EN 1537 und wird auch ausserhalb der Schweiz anerkannt und zunehmend attraktiv.

Die Herausforderungen dieser Baustelle

Eine der Herausforderungen war sicher die grosse Länge der Anker. Die Gesamtlänge von bis zu 59 m bedeuten für den Hersteller und den Bohrunternehmer ausserordentliche Massnahmen. So musste die Fabrikationsanlage bei der VSL (Schweiz) AG um über 20 m verlängert und das Gerät zum Herstellen der Anker auf Grund von Optimierungsversuchen neu eingestellt werden. Auf der Baustelle waren die 59 m insofern kritisch, als dass die Ankerachsen relativ flach sind und das Einbringen der ca. 600 kg schweren Anker deshalb einerseits eine gewisse «Handlingskraft» benötigte, andererseits jedoch dieser Teil der Arbeit mit einem hohen Mass an Fingerspitzengefühl wegen drohender Verletzung der Korrosionsschutzumhüllung ausgeführt werden musste.

Die Baustellenabläufe wurden zusätzlich komplex und aufwändig, weil die Baustelle an einem steilen Hang liegt und nur schwierig zu-

the steel tension member or anchor head respectively and the soil or the structure respectively as the criterion for the tightness of the corrosion prevention encapsulation and for the isolation between the anchorage and the structure.

For a tensioned and fully grouted anchor, if a minimum resistance of 0.1 MegaOhm can be measured, the plastic encapsulation and the isolation are considered tight enough to prevent damage from chemical attack and stray currents. The effectiveness of the method necessitates a robust and carefully assembled anchor and a high quality drilling company with well trained site personnel.

The method using electrically isolated anchors is an integral part of EN 1537 and is also recognized and attracting increasing interest outside Switzerland.

The challenges of the site

One of the challenges was certainly the big length of the anchors. The total length of up to 59 m requires special measures for the supplier and the drilling company. The assembly line at VSL's workshop in Switzerland had to be extended by 20 m and based on optimization tests the equipment used for fabricating anchors had to be adapted. On site the 59 m was critical due to the fact that the anchor axes are relatively flat and that the homing of the 600 kg anchor necessitates on the one hand a certain handling force and on the other hand a high degree of subtle intuition because of the threat of damaging the corrosion protection encapsulation.

In addition, the working procedures were complex and cumbersome because the site was a steep slope which was hardly accessible. It was particularly difficult as the sequence of works necessitated the drilling equipment to be moved again and again from anchor to anchor.

gänglich ist, v.a. aber dann auch deshalb, weil es die Reihenfolge der Arbeiten erforderte, dass das Bohrgerät immer wieder von Riegel zu Riegel umgestellt werden musste.

Problematisch war vielfach die Bohrung im Bereich der freien Ankerlänge, da die Spülluft im Boden versickerte. Damit trotzdem eine Freispülung erfolgte wurde das Bohrsystem speziell den Verhältnissen angepasst.

Der Regulierbereich von + 50 mm bis - 300 mm erlaubt es, bei Ansteigen der Kräfte die Anker immer wieder massvoll zu entspannen. Dies wird mit der Verankerung VSL ER Spezial 5-12 oder 5-19/14 mit mehreren Ringmuttern von total 350 mm Länge erreicht. Der Einbau einer solchen Verankerung erfordert viel Geschick und spezielle Zentrier- und Befestigungshilfen, insbesondere wenn diese Anker zusätzlich als regulierbare Messanker (Typ ER-D) auszubilden sind.

Generell ist jede Baustelle mit elektrisch isolierten Ankern eine Herausforderung für Ankerlieferant und Bohrunternehmer. Unter den oben erwähnten Umständen - Länge 59 m, schwieriger Zugang und prekäre Einbaubedingungen - muss angesichts der guten elektrischen Widerstände (es waren lediglich 3 Anker oder 5% mit einem Wert von < 0.1 MegaOhm) von einem guten Resultat gesprochen werden.

Also problematic was the drilling in the free anchor length as the air flushing used for clearing escaped into the ground. To get a clean borehole, the drilling system had to be specially adapted to the conditions on site.

The adjusting capacity from + 50 mm to - 300 mm allows the increasing force of the anchor to be detensioned as much as needed. This is achieved with an anchorage VSL ER Spezial 5-12 or 5-19/14 with several ring nuts with a total length of 350 mm.

The on-site assembly of such an anchorage requires a lot of skill and special centering and fixing devices, in particular where the anchor was an adjustable surveillance anchor type ER-D.

Every anchor site with electrically-isolated anchors is a challenge for both the anchor supplier and the drilling contractor. In view of the above described circumstances - length 59 m, difficult access and precarious homing conditions - the results of the electrical resistance measurements (3 anchors or 5% with a value < 0.1 Mega-Ohm) have to be considered as good.

Autoren / Authors

Franz Fischli
VSL (Schweiz) AG
Industriestrasse 14
CH-4553 Subingen
ffischli@vsl-schweiz.ch

Peter Romer
Ing. Greuter AG
Langmattstrasse 8
CH-8182 Hochfelden
romer@greuterag.ch

Robert Bossart, Roman Heeb

Einleitung

Auf der Strasse von Chur nach Arosa stellt das Castieler-Tobel ein Hindernis dar, das bisher zu einer engen Strassenschleife tief im nördlich gelegenen Hang geführt hat. Im Zuge des Ausbaus der Schanfiggerstrasse (Chur – Arosa) wurde das Tobel mit einer eleganten Brücke überwunden. Der Bau dieser Brücke beinhaltet eine Reihe von anspruchsvollen Aufgaben. Eine davon wurde auf eindrückliche Weise mit permanenten Boden- und Felsankern gelöst.

Objekt

Beschrieb

Der 275m lange Durchlaufträger der Castieler-Tobelbrücke liegt auf drei Pfeilern mit Kopfstreben und den beiden Widerlagern. Die Spannweiten von 55 bis 77 m ergeben grosse Kräfte in den Auflagern. Die Fundamente zweier Pfeiler liegen in rutschgefährdeten Zonen. Bei den beiden Pfeilern und dem einen Widerlager mussten Massnahmen zur Sicherung dieser Fundamente ergriffen werden. Das Widerlager Seite Arosa wurde mit

Boden- und Felsankern Stahlton CONA-Sol ins Berginnere verankert. Bei den Pfeilerfundamenten 1 und 2 dagegen ist mit grösseren Verschiebungen zu rechnen, sodass die Fundamente vor dem Kriechhang gesichert werden mussten. Dies wurde mit einer u-förmigen Schutzmauer rund um den Pfeilerfuss realisiert. Diese Mauern werden mit je 2 Felsankern in den stabilen Untergrund verankert. (Bild 1)

Konstruktion

Die Anker des Widerlagers sind:

- 5 Anker CONA-Sol Typ L12, K1
- Freie Ankerlänge: 13m
- Verankerungslänge: 7m
- Festsetzkraft: 1000 kN
- 1 Messanker

Die Anker der Stützenschutzmauer sind:

- je 2 CONA-Sol Typ L19, K1
- Freie Ankerlänge: 15m
- Verankerungslänge: 9m
- Festsetzkraft: 800 kN
- Alle Anker sind Messanker

Projektdaten

Region Graubünden
Nutzung des Bauwerks Zufahrt zum Schanfiggertal und Arosa
Bauherr Tiefbauamt Graubünden, Abt. Kunstbauten, Chur
Bauunternehmer Erni J. AG, Flims
Ankerunternehmer Stahlton AG, Zürich
Projektingenieur Fanzun AG, Chur
Bauausführung 2002 bis 2004

Herausragendes Merkmal Verankerte Schutzmauer, um die Pfeilerfundamente vor der Bewegung des Rutschhangs zu sichern.

Project data

Region The Grisons
Use of the structure Access to the Schanfigger valley and Arosa
Owner Building Authority of Canton Graubünden, Section Structures, Chur
Contractor Erni J. AG, Flims
Anchor Contractor Stahlton AG, Zurich
Design Engineer Fanzun AG, Chur
Execution 2002 to 2004

Main feature anchored walls to protect the pier foundations from creep movements in the slope.

Introduction

On the road from Chur to Arosa one of the main obstacles to be overcome is the Castieler gorge, which previously necessitated a narrow bend in the road running along the north-bounding slope. As part of the improvement of the Schanfigger road (Chur - Arosa) the gorge was crossed by constructing an elegant bridge. The construction of this bridge involved a series of challenging problems. One of these was solved in an impressive way by means of permanent ground anchors.

Object

Description

The 275m long continuous beam of the Castieler Gorge Bridge rests on three piers with a braced connection at the top and two abutments. The spans of 55m to 77m result in large forces at the support bearings.



1

Ansicht der Castieler-Tobelbrücke im Bau
View of the Castieler Gorge Bridge during construction



2

Pfeilerfuss mit
Schutzwand im
Vordergrund
Base of bridge
pier with protec-
tion wall in the
foreground

3

Schutzwand mit
Ankerkopf
Protection wall
with anchor
head

Die Ankerköpfe werden durch spezielle Beton-Nischen vor Stein-schlag und Witterungseinflüssen geschützt. Die Ablesung der Druckmessdosen erfolgt unmittelbar am Ankerkopf. Damit werden alle Einflüsse, die durch längere Messleitungen entstehen können, eliminiert. (Bilder 2, 3, 4)

Ausführung als permanente Anker K1

Alle Anker sind als permanente Anker K1 ausgeführt, d.h. sie verfügen über einen umfassenden Korrosionsschutz. Diese Anforderungen, welche zuerst durch die Empfehlung SIA V191: Vorgespannte Boden- und Felsanker (1995) und neu durch die Norm SIA 267: Geotechnik definiert worden sind, stellen das weltweit führende Schutzniveau dar. Das Spannglied der Anker ist vollumfänglich elektrisch isoliert ausgebildet. Damit ergibt sich die Möglichkeit, den elektrischen Widerstand dieser Schutzhülle zu messen, und das Einhalten der geforderten Minimalwerte zu prüfen. Dies ist nicht nur zum Zeitpunkt der Erstellung der Anker

The foundations of two piers are situated in zones endangered by creep movements. In the case of two piers and one abutment measures had to be taken to ensure the stability of these foundations. The abutment on the Arosa side was anchored at a depth in the hillside where no creep takes place using ground anchors of type Stahlton CONA-Sol. With pier foundations 1 and 2, on the other hand, one has to reckon on large displacements, so that the foundations had to be protected from the creeping slope. This was achieved using a u-shaped protective wall around the foot of the pier. These walls are both anchored by means of two ground anchors in the stable bedrock. (figure 1)

Execution

The anchors for the abutment are:

- 5 anchors CONA-Sol, type L12, K1
- free anchor length: 13m
- fixed anchor length: 7m
- lock-off load: 1000 kN
- 1 anchor for assessment and monitoring

The anchors for the walls protecting the piers are:

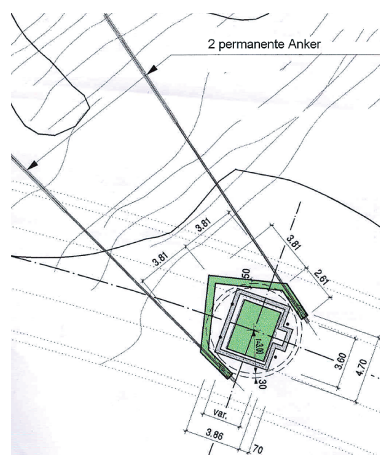
- per pier 2 CONA-Sol, type L19, K1
- free anchor length: 15m
- fixed anchor length: 9m
- lock-off load: 800 kN
- All anchors serve assessment and monitoring purposes

The anchor heads are protected from rock fall and weathering influences by special concrete niches. Reading the load cells is carried out at the anchor head itself. In this way all influences that could be caused by long measuring cables are eliminated.

(figures 2, 3, 4)

Execution as permanent anchor K1

All anchors are executed as permanent anchors, i.e. they are provided with comprehensive corrosion protection. These requirements, which were first defined in the recommendation SIA V191: Prestressed Ground Anchors (1995) and recently in the code SIA 267: Geotechnical Design, represent the highest level of protection worldwide. The anchor's tendon is designed to be completely insulated electrically. This allows the electrical resistance of the protective sheath to be measured and compliance with the minimum values to be checked. This is not only meaningful at the time when the anchor is installed, but also over the whole of its working life.



4

Grundriss Schutz-
wand und Anker
Plan with protec-
tion wall and
anchors

wichtig, sondern auch über die gesamte Lebensdauer der Anker. Es gelingt so, eine Aussage über das Verhalten der Schutzhülle selbst und indirekt über deren Schutzwirkung während der gesamten Nutzungsdauer der Brücke zu erhalten. Damit werden Boden- und Felsanker bezüglich ihrer Zuverlässigkeit und Dauerhaftigkeit vergleichbar mit allen anderen Bauelementen. Die Messung der Widerstände kann direkt am Ankerkopf vorgenommen werden (wie im vorliegenden Fall), oder zentral in einem zusammengefassten Messkasten. Bei einigen Anwendungen kommen heute auch Lösungen vor, welche mit elektronischer Datenübermittlung arbeiten. Dies erlaubt, eine dauernde Fernüberwachung mit Alarmauslösung zu realisieren. (Bild 5)

Wirkungsweise der Schutzmauern und der Pfeiler-Schutzverankerungen

Die Schutzmauern der Pfeilerfundamente sind durch die Anker fest mit dem stabilen Untergrund verbunden, denn die Anker reichen bis in die unbewegliche Zone des Hangs hinein und führen damit zu einer Rückhaltewirkung der Schutzmauern. Dies bedeutet, dass die Anker mit zunehmender Bewegung des Hangs höhere Kräfte übernehmen müssen.

Aus diesem Grund werden die Anker zwar auf ihre Prüflast von 2550 kN geprüft, jedoch weit unterhalb dieser auf 800 kN festgesetzt.

Die Hangbewegung führt zu einem Anwachsen der Ankerkräfte, welche periodisch abgelesen werden. Sobald die Kräfte die zulässige Grenze erreichen sollten, können sie entlastet werden. Dazu würden als erstes die eigens vorgesehenen Stützschaalen entfernt. Falls diese Massnahme nicht ausreichend sein sollte, kann zusätzlich durch Anziehen der stehen gelassenen Litzenüberstände die Anker entkeilt und auf dem ursprünglichen Kraftniveau neu festgesetzt werden. Dabei wird sich die Schutzmauer voraussichtlich bewegen. Durch Messung der Kronenbewegung kann der Zustand des Fundamentalschutzes ermittelt und in späteren Jahren zusätzliche Massnahmen getroffen werden. Dieses Vorgehen ermöglicht es, die Bewegung des Rutschhangs zu beherrschen und deren Auswirkungen auf die Sicherheit der Brücke in den Griff zu bekommen.

It enables one to report on the behaviour of the protective sheath itself and indirectly on the effectiveness of the protection during the whole of the bridge's working life. Thus the ground anchors are comparable with all other structural components in respect to reliability and durability.

The resistances can be measured directly at the anchor head (as in the present case), or in a central measuring unit. In some applications today one encounters solutions that work with electronic data transmission. This permits continuous remote monitoring with the setting off of an alarm. (figure 5)

Method of Action of the Protection Wall and the Pier Anchorages

The protection walls for the pier foundations are tied-back to stable ground by means of the anchors. Since the anchors reach down to ground zones unaffected by slope creep they provide a stabilizing action on the protection walls. This means that the anchors have to withstand greater forces with increasing movements in the slope. For this reason the anchors are loaded up to the test load of 2550 kN, but are locked-off well below this value at 800 kN.

The slope movements lead to an increase in the anchor forces, which are measured periodically. As soon as the forces reach the admissible value, they can be unloaded. To do this, firstly the protective linings planned specifically for this purpose are removed. If this measure is not sufficient, in addition the anchor can be freed from the wedge by tightening the strands left jutting out and locked-off again at the original load level.

In the process the protection wall will probably move. By measuring the displacement of the top the state of the foundation protection can be determined and in later years additional measures can be implemented. The procedure allows the movement of the creeping slope and the effects on the safety of the bridge to be kept under control.



Autoren / Authors

Robert Bossart
dipl. Ing ETH/SIA
Stahlton AG
Riesbachstrasse 57
CH-8034 Zürich 8
robert.bossart@stahlton-avt.ch

Roman Heeb
Bauführer
Stahlton AG
Martinsbruggstr. 67
CH-9016 St-Gallen
roman.heeb@stahlton-avt.ch

5 Spannen der Anker Tensioning of ground-anchor
Tensioning of ground anchor

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 Abbaugelände 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 spezifischen

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 Technical Committee TC 191 is cur-

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

1

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

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

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

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 P18-588 und P18-542) zur Bestimmung der potentiellen Reaktivität der Gesteinskörnungen und die Beton-Performance-Prüfung (AFNOR P18-599 und P18-456) zur Beurteilung des AAR-Widerstandes [6]. Der Grenzwert der Mikrobar-Prüfung liegt bei 0.11% (nach 4 Tagen Messzeit) und derjenige der Beton-Per-

rently 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.

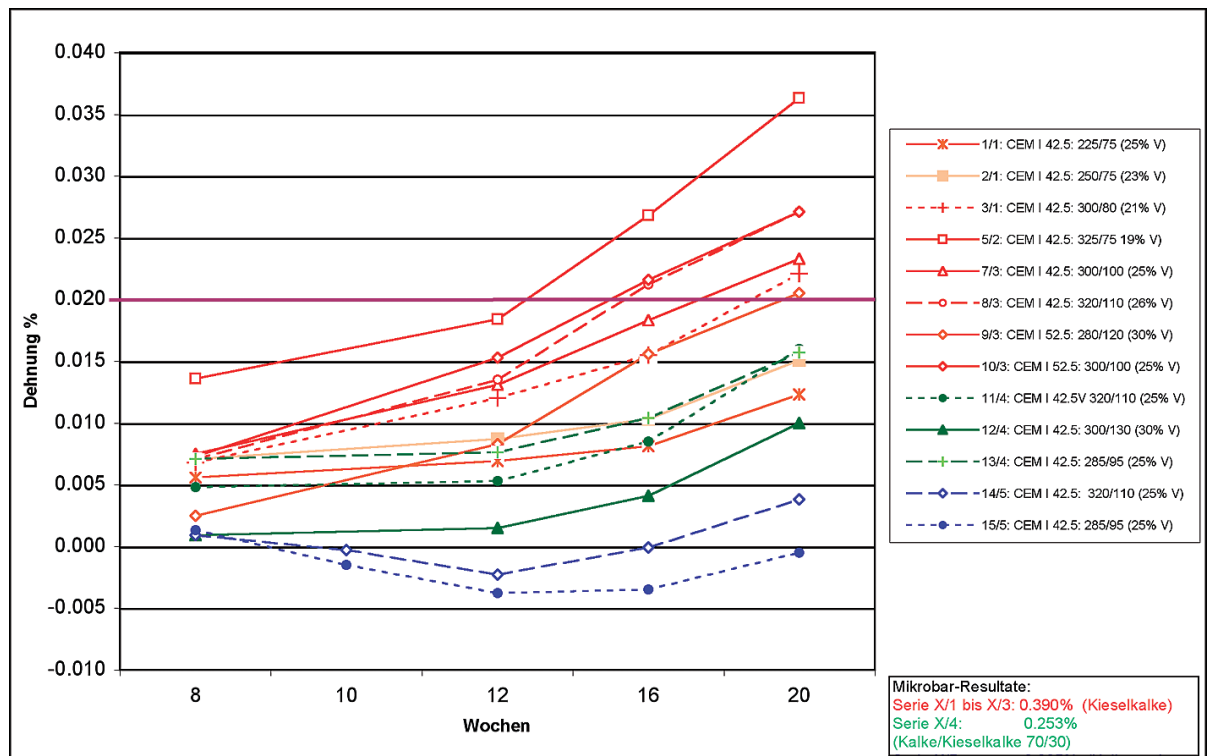
In Switzerland the French testing methods have established themselves, in particular the microbar test (AFNOR P18-588 and P18-542) to determine the potential reactivity of the aggregates and the concrete performance test (AFNOR P18-599 and P18-456) to assess the AAR resistance [6]. The limiting value of the microbar test is 0.11% (after 4 days measuring time) and that of the concrete performance test is 0.02% after 3 to 5 months measuring time, or 0.03% 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 P18-588).



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^3 -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 0.02% 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^3 , V: fly ash as mass-%).

formance-Prüfung bei 0.02% nach 3 bis 5 Monaten Messzeit, respektive bei 0.03% 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 P18-588).

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 verschiedene 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 280 kg/m^3 Beton liegen. Mit den beiden anderen Gesteinskörnungen sind höhere Zementgehalte bis 320 kg/m^3 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 hergestellt wurden, liegen zwei Versuche

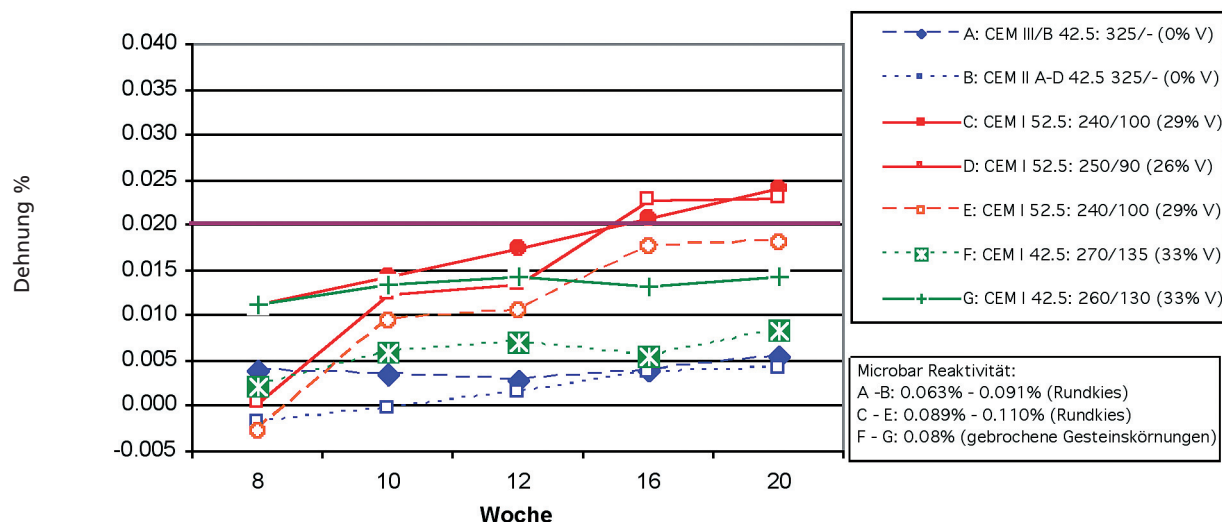
crete for the temporary support and the permanent lining for the monocoque construction method also a CEM III/A-M comprising 8% silica fume is used.

Constructional measures

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

Experience

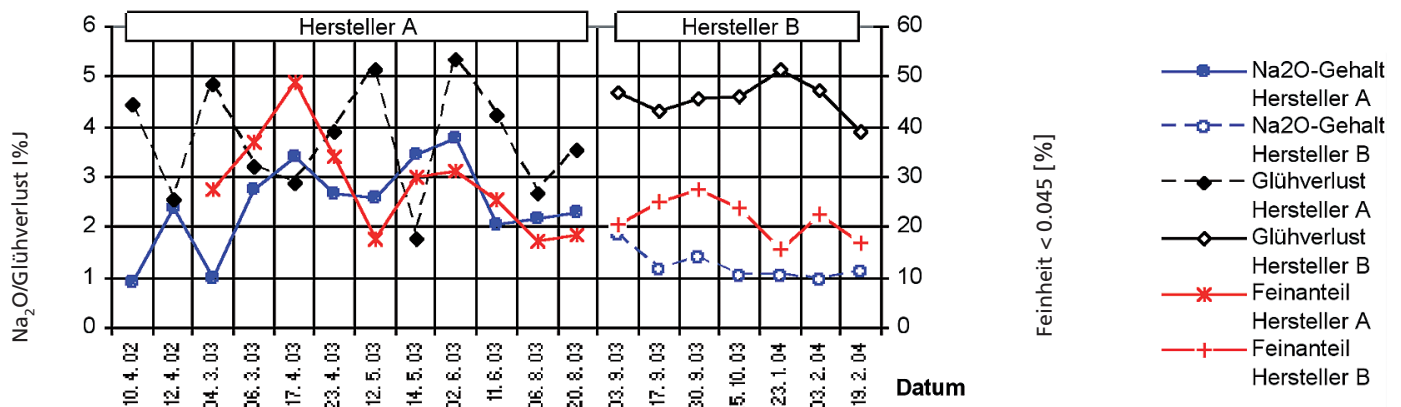
In **figure 3** the strains of the concrete performance test of various concrete mixes consisting of CEM I and a fly ash component between 19 and 30% is applied. For the test, three different types of aggregate with different microbar reactivity are used (see **Legend in figure 3**). The expansion depends 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 280 kg/m^3 -concrete. With the other two aggregates higher cement contents up to 320 kg/m^3 are possible, if the limiting value is



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_2O : alkali content, Glühverlust: lost of ignition, Feinheit: fines content)

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:

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 an unclear 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 ^{a, b}	1	1	2
Massiv und trocken ^b	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 P18-588) 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 P18-588). 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/m³ 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/m³ 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.

III/B) or 7% silica fume (CEM III/A-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, vorgefertigte Teile und Elemente ohne besondere Belastung, d.h. keine Kanalisationen 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: Stauanlagen, 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 Wechseln von nass und trocken ausgesetzt sind und/oder häufig feucht sind. Beispiele: Innenbauteile des Hochbaus (Luftfeuchtigkeit > 75%); Aussenbauteile mit direktem Wasserkontakt; massive 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.

Empfehlungen cemsuisse

Der Verband der Schweizerischen Zementindustrie 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

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

- Beurteilung der Prävention
- Festlegung des Betons

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 P2 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.

- 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 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

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 ⁺ oder P 2	P 3 ⁺
Legende: ⁺ : 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 Beanspruchungsklasse. Determination of the level of prevention following the cernisuisse recommendations.

- Nachweisverfahren 1: Der Hersteller bzw. Lieferant von Gesteinskörnungen erklärt unter 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 der 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 18-588. 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 petrographische 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.

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 clinker is replaced by additives such as silica fume, 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 and curing), in order to minimize the risk of AAR damage to the concrete. In particular it is necessary to have a low w/c value, so that the resistance of the concrete to infiltrating water and salts remains high.

- Nachweisverfahren: Beton-Performance-Prüfung nach AFNOR 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 beton-schädigenden AAR zu minimieren, kann anstelle der Zemente CEM I

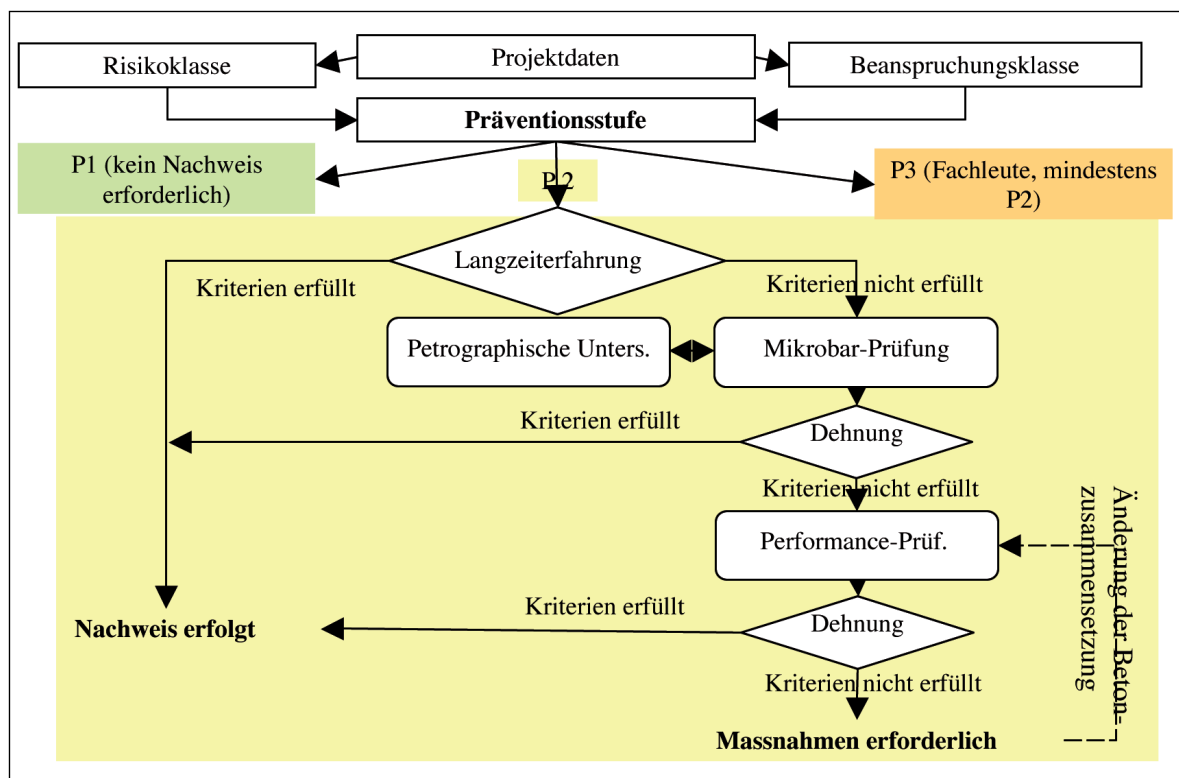
Constructional measures

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 water-proofing 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 clinker and additives in the concrete ensures an optimum mixing and thus a more homogeneous distribution.



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.

bzw. CEM II/A-LL andere CEM II-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 Erfahrung 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

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 fresh hardened 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 gravel mix*
- *correlation between the micro-bar 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 Batonanforderungen.

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

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

Referenzen / References

- [1] Regamey J.M. and Hammerschlag J.-G. (1995) Barrage d'Illsee – 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-Prevention 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.