Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117 (1999)
Heft: 24

Artikel: Gebrochene Zuschlagstoffe: ergänzende Prüfungen zu den bestehenden Beton-Normen - Erfahrungen bei AlpTransit Gotthard

Autor: Leemann, Andreas / Thalmann, Cédric / Kruse, Matthias

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79750

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Andreas Leemann, Dübendorf, Cédric Thalmann,Wabern, Matthias Kruse, Zollikon

Gebrochene Zuschlagstoffe

Ergänzende Prüfungen zu den bestehenden Beton-Normen – Erfahrungen bei AlpTransit Gotthard

Die beim Projekt AlpTransit Gotthard gesammelten Erfahrungen zum besonderen Charakter der gebrochenen Zuschläge werden zusammengefasst und es wird beschrieben, welche Qualitätsanforderungen, Prüfverfahren und -kriterien ausgewählt bzw. entwickelt wurden, um mit diesen Besonderheiten umgehen zu können.

Beim Bau des neuen Eisenbahnbasistunnels durch den Gotthard fallen Millionen von Kubikmetern Ausbruchmaterial an - zugleich werden Hunderttausende von Tonnen Betonzuschlagstoffe für den Ausbau benötigt. Während vier Jahren hat AlpTransit Gotthard in Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Hochschule, der Empa und der Kies- und Betonindustrie intensiv in Labors, Versuchsanlagen und auf Baustellen geforscht und getestet, um den Nachweis zu erhalten, dass das anfallende Ausbruchmaterial zu hochwertigen Betonzuschlagstoffen aufbereitet werden kann. Nach Auffassung der Autoren sind die evaluierten Prüfungen geeignet, Lücken in den bestehenden Beton-Normen bei der Charakterisierung von gebrochenen Zuschlägen aus Ausbruchmaterial zu schliessen.

Beton aus gebrochenem Zuschlag zeigt systematische Unterschiede zum Beton mit Zuschlag aus Alluvialkies. Bei gebrochenem Zuschlag können zudem zwei Probleme auftreten, die beim Alluvialkies in der Schweiz bisher höchstens als Randerscheinungen erschienen oder unerkannt blieben:

- Brechsand aus kristallinen Gesteinen (Granit, Gneise, metamorphe Schiefer) enthält zum Teil signifikante Mengen an Schichtsilikaten («Glimmer»). Diese können die Mörtel- und Betoneigenschaften negativ beeinflussen.
- Neue Untersuchungen haben ergeben, dass Gesteine in verschiedenen Regionen der Schweiz bezüglich einer potentiellen Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) gefährdet sind.

Weil in der Schweiz bislang fast ausschliesslich Alluvialkies als Betonzuschlag eingesetzt wurde, basieren auch die nationalen Normen auf Erfahrungen mit diesem Material. Die Klassifikation des schädlichen Zuschlags in der Norm SIA 162/1 ist nicht unbedingt auf die Schichtsilikate im Sand anwendbar und deckt AAR-gefährdete Zuschläge nicht ab. Die beiden europäischen Normen für Beton und Betonzuschläge SIA V162.051 (prEN 206) bzw. prEN 12620, die in den nächsten Jahren das nationale Normenwerk ersetzen werden, enthalten bisher keine Prüfverfahren zur Bestimmung von Schichtsilikaten oder AAR-gefährdetem Zuschlag.

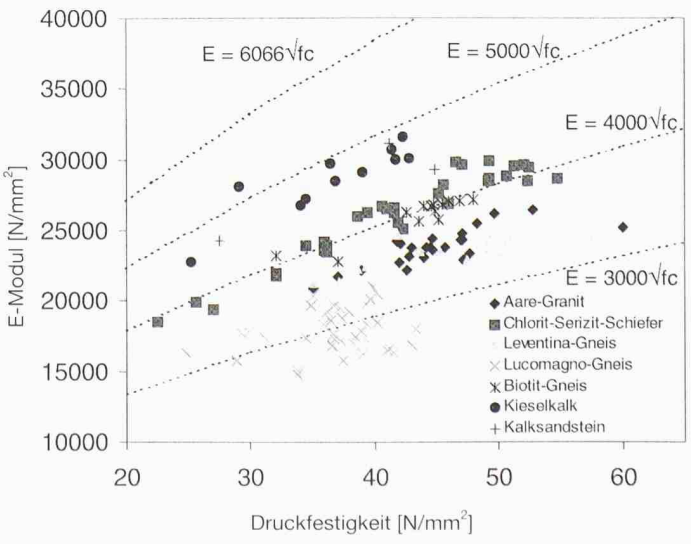
Im Folgenden werden die bisherigen Untersuchungsresultate und Erfahrungen mit gebrochenem Zuschlag zusammengefasst und ergänzende Prüfungen zu den bestehenden Normprüfungen vorgeschlagen. Am Beispiel AlpTransit wird gezeigt, wie diese Ergänzungen in der Praxis umgesetzt werden können.

Beton aus gebrochenem Zuschlag (Splittbeton)

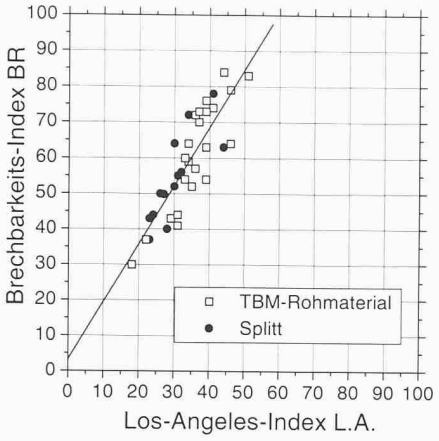
Beton aus Alluvialkies und aus gebrochenem Zuschlag

Die Ergebnisse von ersten umfangreichen Versuchen mit gebrochenem Zuschlag wurden 1986 von Jäckli & Schindler [1] publiziert. Im Rahmen der Neat wurden an der Empa ausgedehnte Versuche mit aufbereitetem Tunnelausbruch durchgeführt [2, 3, 4]. Diese Versuche ergänzen die Datenbasis über das Verhalten von Frisch- und Festbeton aus gebrochenem Zuschlag.

- Der Hohlraumgehalt des lose geschütteten Zuschlags ist bei gebrochenem Material wegen des höheren Anteils an nichtkubischen Körnern grösser als beim Alluvialkies. Deshalb benötigen Betonmischungen aus gebrochenem Zuschlag auch einen entsprechend höheren Anteil an Zementleim [5]. Wird das Volumen an Zementleim nicht durch Wasserzugabe erhöht, sondern durch die Zugabe von Bindemitteln mit entsprechendem WZ-Wert, kann die Betonqualität hoch gehalten werden. Der Mehrbedarf an Zement gegenüber dem Alluvialkies ist vom Anteil an nichtkubischen Körnern beim gebrochenen Zuschlag abhängig.
- Die Druckfestigkeit ist wie beim Beton aus Alluvialkies in erster Linie vom WZ-Wert abhängig. Sie ist in der Regel leicht höher mit gebrochenen Zuschlägen.
- Das Verhältnis Biegezugfestigkeit/Druckfestigkeit ist beim Beton mit gebrochenem Material leicht höher als beim Alluvialkies-Beton.
- Beton aus gebrochenem Zuschlag (Bild 1) weist bei einer bestimmten Druckfestigkeit tiefere Werte beim E-Modul auf als Beton aus Alluvialkies. Dies ist in erster Linie auf den Gesteinstyp zurückzuführen. Beton mit gebrochenem Kalkzuschlag erreicht ähnliche Werte wie der Alluvialkies. Wird jedoch kristallines Gestein als Zuschlag verwendet, sinkt der E-Modul ab. Mit sinkendem E-Modul wird allerdings auch die Wahrscheinlichkeit von Schwindrissen kleiner.



1 E-Modul in Abhängigkeit der Druckfestigkeit bei Beton mit Tunnelausbruch als Zuschlag



2
Vergleich Brechbarkeits-Index BR mit dem Los-Angeles-Index L.A. (R = 0,85, n = 36)

▪
Weil der Zementleimanteil im allgemeinen höher ist als beim Beton aus Alluvialkies, steigt die Wasserleitfähigkeit an, die Frostbeständigkeit verschlechtert sich und das Schwindmass wird grösser. Diese Unterschiede sind jedoch so klein, dass sie in der Praxis normalerweise nicht relevant sind.

▪
Bei Betonmischungen mit gebrochenem Zuschlag wirken sich Produktionsschwankungen stärker aus als bei Beton aus Alluvialkies. Deshalb gilt es darauf zu achten, dass bei der Herstellung und Verarbeitung die bestehenden Qualitätsvorschriften genau eingehalten werden.

Die Unterschiede des gebrochenen Zuschlags gegenüber dem Alluvialkies bezüglich Morphologie und Mineralogie der Komponenten erfordern technologische Anpassungen bei der Konzeption von Betonmischungen. Die Kenngrössen von Beton mit gebrochenem Zuschlag und ihre Beziehungen zueinander bewegen sich jedoch in einem ähnlichen Rahmen wie beim Beton mit Alluvialkies. Damit kann bei der Betonherstellung auf bewährte Methoden zurückgegriffen werden, um einen Baustoff mit den geforderten Eigenschaften herzustellen.

Anforderungen der Normen

Die in der Norm SIA 162/1 gestellten Anforderungen an den Zuschlag beziehen sich auf die Siebanalyse, die petrographische Beschaffenheit sowie anorganische und organische Verunreinigungen. Diese Anforderungen können sowohl beim Alluvialkies als auch beim gebrochenen Zuschlag angewandt werden. In der Norm SN 670 130 wird beim Zuschlag für Betonbeläge zusätzlich noch der Anteil an nichtkubischen Körnern limitiert. In den europäischen Normen werden neben der Siebanalyse und Kornform durch den Los-Angeles-Test auch Anforderungen bezüglich der mechanischen Festigkeit der Zuschläge gestellt.

Die Kornform von gebrochenem Zuschlag kann - bedingt durch die Herstellungsart und den Gesteinstyp - stark schwanken. Weil sie den Hohlraumgehalt des lose geschütteten Zuschlags und damit den Bedarf an Zementleim einer Betonmischung beeinflusst, liefert die Prüfung der Kornform wertvolle Resultate.

Minimale Gesteinsfestigkeit

Die mechanische Festigkeit des Zuschlags kann die Betonqualität beeinflussen. Die langjährigen Erfahrungen bei der Herstellung von Beton zeigen, dass die Druckfestigkeit des Zuschlags mindestens doppelt so hoch sein sollte wie diejenige des Betons. Alluvialkies und daraus gebrochene Splittprodukte weisen in der Regel hohe Gesteinsfestigkeiten auf.

Normen und Verfahren zur Bestimmung der Zuschlag-Festigkeit

Die Betonnorm SIA 162/1 macht keine Angaben über eine minimal geforderte Druckfestigkeit von Splittprodukten, wie sie zum Beispiel für Hartschotter (140 N/mm^2) verlangt werden (Norm SN 670 130). Eine minimale Gesteinsfestigkeit von 100 N/mm^2 verlangt z.B. die DIN 4226 (1983, Teil 1) für Betonzuschlag aus gebrochenem Naturstein.

Der von der CEN-Norm eingeführte Los-Angeles-Index (prEN 1097-2) beurteilt die Festigkeit der Zuschläge indirekt aufgrund ihres Abriebverhaltens gegenüber Schlag und Zertrümmerung. Das Abriebverhalten ist unter anderem auch von der Gesteinsfestigkeit abhängig.

Erfahrungen mit der Zuschlag-Festigkeit im Projekt AlpTransit

Gestützt auf zahlreiche Materialuntersuchungen und über 200 Labor- und Baustellen-Betonversuche, die im Rahmen der AlpTransit-Voruntersuchungen durchgeführt wurden, kann als Richtgrösse für Beton der Festigkeitsklasse B40/30 eine minimale Gesteinsfestigkeit von 75 N/mm^2 empfohlen werden. Liegt die Gesteinsfestigkeit unter den 75 N/mm^2 ist die Beton-Festigkeitsklasse durch Vorversuche zu prüfen.

Prüfverfahren und Anforderungen an die Gesteinsfestigkeit für das Projekt AlpTransit

Die Gesteinsfestigkeit des Tunnelausbruchs wird bei AlpTransit mit verschiedenen Methoden geprüft. Als täglich durchgeführtes Prüfverfahren wird am unaufbereiteten Rohmaterial der LCPC-Brechbarkeitstest (AFNOR P18-579) angewandt. Er liefert mit dem Los-Angeles-Test korrelierbare Resultate (Bild 2) und kann mit geringem materiellem und zeitlichem Aufwand durchgeführt werden. Als weiteres Verfahren zur Bestimmung der Gesteinshärte wird der Punktlast-Index (indirekte Zugfestigkeit) eingesetzt, der weit verbreitet ist und einen oft verwendeten Gesteinsparameter darstellt.

Für den aufbereiteten Zuschlag wird der Los-Angeles-Test gemäss prEN 1097-2 als Prüfverfahren eingesetzt.

AlpTransit setzt für einen Beton B40/30 folgende Anforderungen an die Gesteinshärte:

- Rohmaterial: Brechbarkeits-Index 75, Punktlast-Index I_{S50} 2,5 N/mm^2 für anisotropes Gestein (parallel zur Schieferung) und 3,5 N/mm^2 für isotropes Gestein
- Aufbereiteter Zuschlag: Los-Angeles-Index 40.

Werden diese Anforderungen nicht erfüllt, müssen Betonversuche durchgeführt werden, um die Eignung des Materials nachzuweisen.

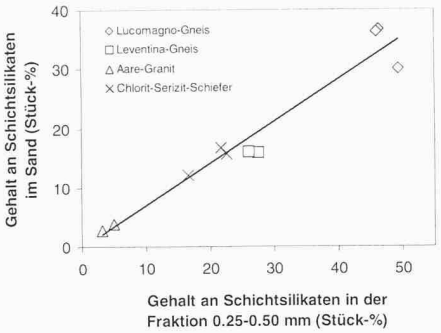
Schichtsilikate (Glimmer)

Glimmer gehören zur Mineralgruppe der Schichtsilikate. Sie zeichnen sich durch einen lagigen Aufbau aus und zerfallen wegen ihrer guten Spaltbarkeit leicht in einzelne Plättchen. Im Alpenraum sind Muskowit und Biotit die am häufigsten vertretenen Glimmer-Typen. Ein weiteres oft anzutreffendes Schichtsilikat ist der Chlorit.

Mörtel- und Betonversuche

Es ist seit langem bekannt, dass die Schichtsilikate Mörtel- und Betoneigenschaften negativ beeinflussen können (z.B. [6]). Allerdings lagen bis anhin nur wenig Informationen vor, ob sich Schichtsilikate unterschiedlicher Mineralogie und Korngrösse auch unterschiedlich stark auf Mörtel und Beton auswirken. An der Empa sind Mörtel- und Betonversuche durchgeführt worden, bei denen verschiedene Typen von Schichtsilikaten (Muskowit, Biotit, Chlorit) zur Anwendung kamen [7]. Der Gehalt an Schichtsilikaten im Zuschlag und ihre Korngrösse wurden systematisch variiert. Die Resultate sind im folgenden zusammengefasst:

▪
Mit zunehmender Korngrösse der Schichtsilikate und zunehmendem Gehalt im Zuschlag verschlechtert sich die Verarbeitbarkeit von Frischmörtel und -beton.



3
Vergleich des Gehalts an Schichtsilikaten im Sand 0/4 mm zur Sandunterfraktion 0,25/0,5 mm

▪
Die Druckfestigkeit nimmt mit zunehmender Korngrösse und zunehmendem Gehalt an Schichtsilikaten ab.

▪
Die Biegezugfestigkeit wird durch die Schichtsilikate nur geringfügig beeinflusst.

▪
Die Kapillarporosität U_E-U_{50} (SIA 162/1) und die Wasserleitfähigkeit zeigen einen direkten Zusammenhang mit dem Anteil an Schichtsilikaten im Zuschlag. Sie steigen mit zunehmendem Gehalt und zunehmender Korngrösse an.

▪
Zwischen den drei verwendeten Schichtsilikat-Typen (Muskowit, Biotit, Chlorit) waren keine nennenswerten Unterschiede vorhanden.

Gefügeuntersuchungen an Dünnschliffen geben Aufschluss über die Wirkungsweise der Schichtsilikate:

▪
Die Schichtsilikate erhöhen die spezifische Oberfläche des Zuschlags wesentlich. Feine Partikel (Feinanteil des Zements und des Zuschlags) und Wasser werden am Interface (Kontaktzone Zuschlag-Zementleim) gebunden und dem restlichen Bindemittel entzogen. Die Verarbeitbarkeit des Frischmörtels oder -betons wird dadurch verschlechtert. Zusätzlich wirkt sich die plattige Kornform der Schichtsilikate negativ auf die Verarbeitbarkeit aus.

▪
Schichtsilikate im Zuschlag führen zu einer inhomogeneren Verteilung der Kapillarporen und einem erhöhten Gesamtvolumen an Kapillarporen. Sie verursachen damit eine Abnahme der mechanischen Festigkeit und eine Zunahme der Wasserleitfähigkeit.

▪
Schichtsilikate < 63 µm liegen im selben Korngrössenbereich wie der Feinanteil des Zuschlags und des Zements. Sie verhalten sich wie ein inerter Filler und ihre Auswirkungen sind gering.

Bestimmung des Gehalts an Schichtsilikaten im Sand

Um eine Methode für die effiziente Bestimmung von Schichtsilikaten im Sand zu erarbeiten, wurden zehn Ausbruchmaterialien von diversen Tunnelbaustellen untersucht (3 × Lucomagno-Gneis, 2 × Leventina-Gneis, 2 × Aare-Granit, 3 × Chlorit-Serizit-Schiefer [7]). Als Schichtsilikate wurden einzelne Schichtsilikat-Plättchen («freie Schichtsilikate») und Sandkörner mit mehr als 50% Schichtsilikaten an der Oberfläche («schichtsilikatreiche Sandkörner») bestimmt. Die Auszählung erfolgte unter dem Binokular an sieben Sandunterfraktionen (0,063–4,0 mm). Die Angabe des Gehalts erfolgt in Stückprozenten.

Es zeigt sich, dass der Gehalt an Schichtsilikaten im Sand im Korngrössenbereich 0,25–0,50 mm ein Maximum erreicht. Entsprechend zeigt der Gehalt dieser Fraktion eine starke lineare Beziehung mit dem Gehalt im Sand (Bild 3). Werden mehr als 200 Körner der Fraktion 0,25–0,50 mm bestimmt und ausgezählt, ergibt sich ein repräsentativer Wert für den Sand. Bei der Analyse sind die freien Schichtsilikate und schichtsilikatreichen Sandkörner getrennt aufzuführen. Weil nur eine Unterfraktion des Sandes untersucht werden muss, ist der Aufwand für eine Bestimmung relativ klein.

Anforderungen an den Schichtsilikatgehalt gemäss den Normen

Nach Norm SIA 162/1 werden Schichtsilikate zu den schädlichen Komponenten gezählt. Bei einem Beton B 30/20 oder höherer Festigkeit ist ein Anteil bis 5 Masseprozent im Zuschlag erlaubt, bei einem Beton B 20/10 und B 25/15 ein Anteil von 5 bis 10 Masseprozenten. In der Norm SN 670130 ist bei Zuschlag für Betonbeläge in der Fraktion > 3 mm ein Anteil von 2 Massenprozent Schichtsilikaten erlaubt und in der Fraktion < 3 mm ein Anteil von 5 Stückprozent. In der prEN 12620 werden keine Anforderungen an die petrographische Beschaffenheit gestellt.

Norm SIA 162/1 verlangt eine Bestimmung der schädlichen Komponenten in Masseprozenten. Dies ist für die Schichtsilikate im Sand aus zwei Gründen nicht sinnvoll. Erstens ist eine Bestimmung in Masseprozenten in der Sandfraktion aufwendig und in diesem Korngrössenbereich nicht sehr präzis. Zweitens haben die Empa-Untersuchungen ergeben, dass für den Einfluss auf Mörtel und Beton nicht der Massenanteil sondern die Stückzahl an Schichtsilikaten ausschlaggebend ist. Die Angabe des Gehalts an Schichtsilikaten sollte deshalb in Stückprozenten erfolgen.

Die Anforderungen der SN 670130 mit einer Unterteilung in Masseprozent in der Fraktion > 3 mm und in Stückprozent in der Fraktion < 3 mm sind praxisgerecht. Allerdings ist der Grenzwert von maximal 5 Stückprozent in der Fraktion < 3 mm extrem tief.

Basierend auf den Erkenntnissen aus den Empa-Untersuchungen können für Betonzuschlag die folgenden Definitionen und Anforderungen empfohlen werden:

▪
Zu den Schichtsilikaten werden Körner mit >50% Schichtsilikaten an der Oberfläche gerechnet. Schichtsilikate im Sand <4 mm werden in Stückprozent bestimmt und getrennt von den schädlichen Körnern gemäss SIA 162/1 beurteilt. Schichtsilikate >4 mm werden zu den schädlichen Körnern gezählt.

▪
Bei einem Beton B 30/20 oder höherer Festigkeit empfiehlt sich ein Anteil an Schichtsilikaten in der Fraktion 0,25–0,50 mm von unter 35 Stückprozent. Bei einem höheren Anteil ist die Wirkung auf die Eigenschaften des Betons zu prüfen.

AlpTransit-Anforderungen bezüglich zulässiger Schichtsilikatgehalte im Sand

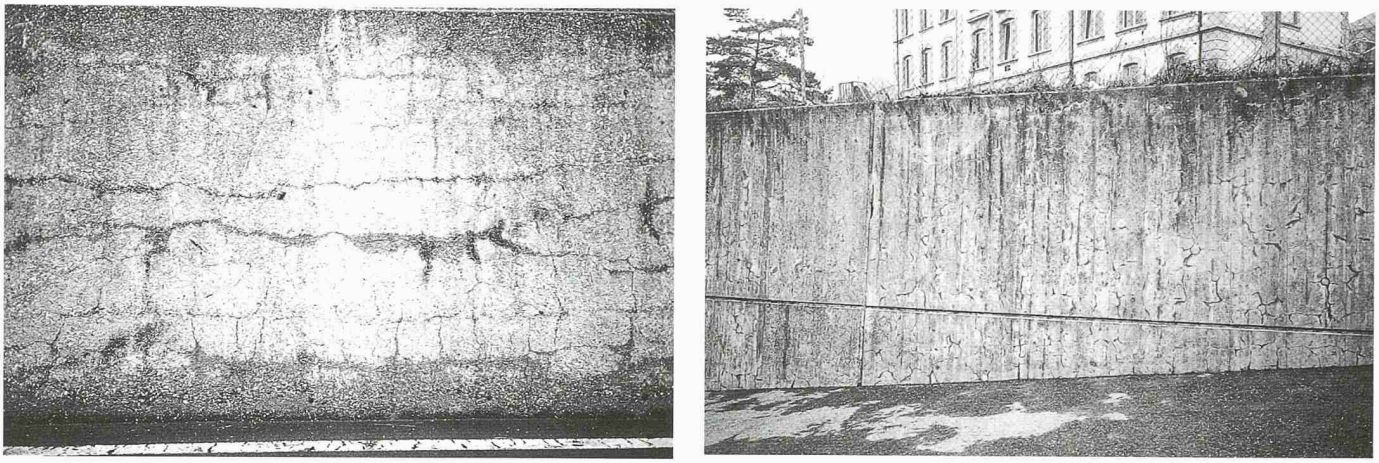
Der Gehalt an Schichtsilikaten im Sand wird in der repräsentativen Unterfraktion 0,25–0,50 mm bestimmt. Hierbei werden sowohl die freien Schichtsilikate als auch Körner bestehend aus über 50% Schichtsilikaten gezählt. Sie werden getrennt von den ungeeigneten Körnern nach SIA 162/1 erfasst.

Die restlichen, nach SIA 162/1 petrographisch ungeeigneten Körner (ohne Schichtsilikate), werden in der Sandfraktion 1–4 mm bestimmt (ebenfalls in Stückprozent).

Basierend auf den Erfahrungen der AlpTransit Betonversuchen und der Empa-Untersuchungen stellt AlpTransit für die Beton-Festigkeitsklasse B 40/30 folgende Anforderungen an den Sand im Rohmaterial und an den aufbereiteten Brechsand:

▪
Der Rohsand im anfallenden Tunnelausbruch darf einen maximalen Gehalt an freien Schichtsilikaten von 40 Stückprozent in der Fraktion 0,25–0,50 mm aufweisen. Bei einem höheren Anteil müssen Betonversuche durchgeführt werden, um die Eignung des Zuschlags abzuklären.

▪
Im aufbereiteten Sand ist in der Fraktion 0,25–0,50 mm ein Gehalt an Schichtsilika-



4
Links: Stützmauer aus dem Kt. Bern, rechts: Unterführung Kt. Neuenburg. Auf beiden Abbildungen sind die für AAR typischen, netzartigen Rissmuster erkennbar (Höhe der Mauern 2,5 m). Die Risse sind bis zu 5 mm geöffnet, und stellenweise tritt Wasser aus (Bild: B-I-G)

ten von 35 Stückprozent erlaubt. Bei einem höheren Anteil müssen Betonversuche durchgeführt werden, um die Eignung des Zuschlags abzuklären.

Neben diesen Sandanforderungen bezüglich der petrographischen Eignung, übernimmt AlpTransit die Grenzwerte für die Splittprodukte (> 4 mm) gemäss SIA 162/1.

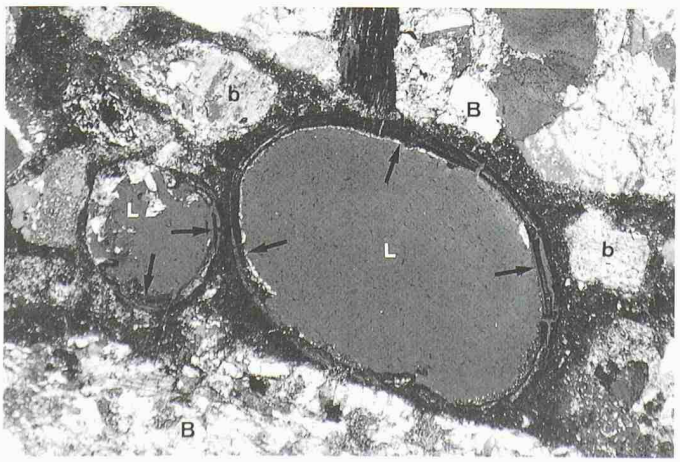
Alkali-Aggregat-Reaktion

Die Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) ist eine chemische Reaktion zwischen reaktiven Zuschlagstoffen und den freien Alkalien im Porenwasser von Mörtel oder Beton. Bei dieser chemischen Reaktion kommt es zu einer Volumenzunahme, die zur Zerstörung des Betons führen kann.

Die bekannteste und am häufigsten auftretende Art der Alkali-Aggregat-Reaktion sind die Alkali-Silika-Reaktion und die Alkali-Silikat-Reaktion, die hier als ASR-Reaktion bezeichnet werden. Bei diesem chemischen Prozess reagieren Alkali-Hydroxide (Na^+, K^+) im Porenwasser des Betons mit Silikatmineralien der Zuschlagstoffe und bilden einen Alkali-Silika-Gel. Es kann zwischen einem langsam und einem rasch reagierenden Typ unterschieden werden. Die rasche Reaktion führt bereits nach einigen Monaten zu expansiven Schäden am Beton. Im Gegensatz dazu macht sich der langsamere Typ erst nach einigen Jahren bis Jahrzehnten bemerkbar. Der Vollständigkeit halber sei hier auch die selten auftretende Alkali-Karbonat-Reaktion mit dolomitischen Kalkkomponenten aufgeführt, die aus Kanada und Frankreich bekannt ist.

Bei einer auftretenden ASR werden oftmals die Zuschläge als Auslöser und somit als Verursacher der Schäden bezeichnet. Bei einer Reaktion spielen allerdings verschiedene Faktoren eine Rolle:

- reaktives SiO_2 in den Zuschlägen (oder aus gewissen Silikatzusatzstoffen)
- genügender Anteil an aktiven Alkalien K^+ und Na^+ (können vom Zement, Zuschlägen, Zusatzstoffen, Zusatzmitteln, Mischwasser oder von infiltrierendem Wasser wie Bergwasser stammen)
- klimatische Exposition des Betons (erhöhte Temperaturen, Wasserkontakt und -zirkulation, Luftfeuchtigkeit).



5
Alkali-Aggregat-Reaktion im Dünnschliff. Betonprobe der Stützmauer aus Bild 4 links. Bildung von Silikagel (Pfeile) in Luftporen (L). B: grobe und b: feine Betonzuschlagstoffe (Bild: TFB-Nyon, Dr. Hammerschlag)

AAR-Schäden in der Schweiz

Hammerschlag und Regamey [8] haben 1995 die erste und bis heute einzige Publikation über AAR-Erscheinungen in der Schweiz publiziert. Schäden, die auf eine AAR zurückzurufen sind, mehren sich aber in letzter Zeit (Bild 4 und 5). Es ist anzunehmen, dass AAR-Schäden in der Schweiz oft nicht als solche erkannt oder als Frostschäden interpretiert wurden.

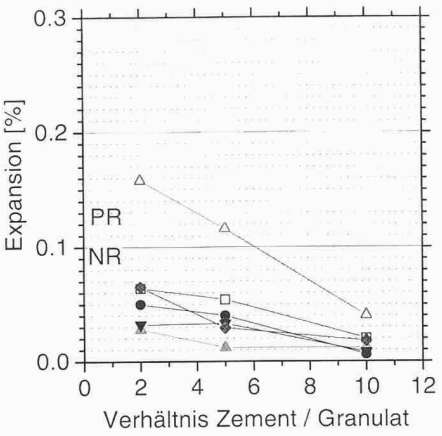
In der Schweiz wird die ASR hauptsächlich durch Zuschlagstoffe bestehend aus kristallinen Mineralien ausgelöst. Hierbei spielen folgende Faktoren eine Rolle:

- Anteil, Grösse, Form und Anordnung von AAR-gefährdeten Mineralien (z.B. gewisse Quarz-, Feldspat-, Schichtsilikattypen usw.)
- Verwitterungsgrad der Mineralien
- Art des Gesteingefüges (Ausbildung der Korngrenzen, Mikrorissverteilung usw.)
- Art der Gesteins- bzw. Mineraloberfläche (z.B. frisch gebrochen).

Alluvialkies und gebrochene Sedimentgesteine können dieselben Mineralien wie kristalline Gesteine enthalten und können somit auch reaktiv sein.

Verfahren zur Bestimmung der AAR-Gefährdung der Zuschlagstoffe

Im Gegensatz zu vielen ausländischen Normen sind in der SIA 162/1 keine Anforderungen oder Empfehlungen bezüg-



Legende:
- A: Chlorit-Serizit-Gneis (AM_{csgn}abDe)
- A: Biotit-Gneis (AM_{gnei}abDe)
- S: Lockergestein Val da Claus
- F: Lucomagnogneis
- F: Lucomagno-/Leventinagneis
- F: Leventinagneis

6
Potentielle AAR-Gefährdung der untersuchten Proben gemäss der französischen Norm AFNOR P18-588 (Abkürzungen: NR: nicht reaktiv, PR: potentiell reaktiv, A: Abschnitt Amsteg, S: Abschnitt Sedrun, F: Abschnitt Faido)

lich AAR-gefährdeten Zuschlag enthalten. Ob auf europäischer Ebene eine Norm zur Bestimmung der Alkali-Reaktivität von Zuschlägen ausgearbeitet wird, ist noch offen. Nach dem heutigen Wissensstand können verschiedene vorbeugende Massnahmen ergriffen werden, um eine AAR zu verhindern:

- entweder keine AAR-gefährdeten Zuschläge einsetzen oder
- Alkaligehalt des Zements tief halten
- Wasserkontakt bzw. Durchfeuchtung des Betons durch bauliche Massnahmen verhindern.

Beton mit höchsten Ansprüchen und ohne zu befürchtende AAR-Schäden kann auch mit potentiell AAR-gefährdeten Zuschlägen erreicht werden, indem jeweils die richtigen Massnahmen getroffen werden. Diese wiederum sind abhängig von der Art der Betonkonstruktion, Wichtigkeit des Baus, den Betonanforderungen, von der klimatischen Exposition, von den verfügbaren Betonkomponenten (Zementtyp, Zuschläge, Wasser usw.) und letztlich auch von wirtschaftlichen Kriterien.

Bestimmung der AAR-gefährdeten Zuschläge beim AlpTransit-Projekt

Im Rahmen der Vorprojekte AlpTransit Gotthard wurden die französischen Prüfnormen, insbesondere der Mikrobartest (AFNOR P18-588) eingesetzt, da dieser sich für die Prüfungen sowohl von alpinen Kristallingesteinen als auch von Alluvialkies gut eignet und als einziger Test bereits nach vier Tagen zuverlässige Resultate liefert.

Unter der Leitung der Fach- und Koordinationsstelle Materialbewirtschaftung wurde die AAR-Gefährdung von diversen Gesteinstypen, die für die Herstellung von Betonzuschlägen vorgesehen sind, an der TFB in Nyon untersucht [3]. Aus Bild 6 geht hervor, dass Chlorit-Serizit-Gneise aus dem Abschnitt Amsteg als potentiell AAR-gefährdet eingestuft werden müssen.

Im Rahmen der Bauausführung werden beim Projekt AlpTransit hinsichtlich der AAR-Gefährdung folgende Untersuchungen am Ausbruchmaterial und Zuschlagstoffen durchgeführt:

- Makro- und mikroskopische Beurteilung der Gesteinsmaterialien bezüglich ihrer AAR-Gefährdung
- Regelmässige AAR-Prüfungen mittels Mikrobartest, AFNOR P18-588.

Zusammenfassung

Obwohl sich gebrochene Zuschläge bezüglich Mineralogie und Morphologie von Alluvialkies unterscheiden, eignen sie sich zur Herstellung von hochwertigem Beton. Umfassende Betonversuche und Untersuchungen an gebrochenen Zuschlagstoffen im Rahmen der AlpTransit-Gotthard-Vorprojekte und an der Empa haben gezeigt, dass die bestehenden Normprüfungen nicht in allen Fällen ausreichen, um gebrochene Zuschläge zuverlässig zu charakterisieren. Es wird deshalb empfohlen, je nach geplantem Einsatzbereich ergänzende Prüfungen durchzuführen. Diese betreffen insbesondere die Gesteinshärte, den Schichtsilikatgehalt im Sand (für kristalline Gesteine) und die potentielle Alkali-Aggregat-Gefährdung der Zuschläge. Als Konsequenz dieser Untersuchungen wurde für das zu Betonzuschlagstoffen aufzubereitende Tunnelausbruchmaterial der AlpTransit-Projekte ein geeignetes, d.h. rasch durchführbares und wirtschaftlich vertretbares, Prüfverfahren ausgewählt bzw. entwickelt.

Adresse der Verfasser:
Matthias Kruse, dipl. Bauing. ETH, Ernst Basler + Partner AG, Zollikerstrasse 65, 8702 Zollikon, *Andreas Leemann*, Dr. sc. nat., Geologe, Empa, Beton-Bauchemie, Überlandstrasse 8600, Dübendorf, *Cédric Thalmann-Suter*, Dr. sc. nat., Ingenieurgeologe, B-I-G Büro für Ingenieurgeologie, Gurtenbrauerei, 3084 Wabern

Literatur

[1]
Jäckli H., Schindler C.: Möglichkeiten der Substitution hochwertiger Alluvialkiese durch andere mineralische Rohstoffe. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie 68. Verlag Kümmerly & Frey, Bern 1986

[2]
Kruse M., Weber R.: Beton aus TBM-Ausbruchmaterial. Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 47, 1995

[3]
Thalmann C.: Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen. Beiträge zur Geologie der Schweiz; Geotechnische Serie 91 (ISBN 3-907997-24-7), 1996

[4]
Leemann A., Olbrecht HP.: Aus Tunnelausbruch wird Beton. Schweizer Baublatt, Nr. 33, 1999

[5]
Olbrecht HP.: Einfluss des Hohlraumgehalts des Zuschlags auf die Betonqualität. Schweiz. Baustoff-Industrie, Nr. 4, 1994

[6]
Kathrein G.: Über den Einfluss von Glimmer- und Eisenglimmerzusätzen auf die Festigkeit von Mörtel und Beton. Zement Nr. 8, Sonderdruck, 1931

[7]
Leemann A.: Die Auswirkungen von freien Schichtsilikaten auf die Eigenschaften von Mörtel und Beton, Empa-Untersuchungsbericht Nr. 166184, Dübendorf 1998

[8]
Hammerschlag J.-G., Regamey J.-M.: Barrage de l'Ilsee - assainissement. Research and development in the field of dams, proceedings, september 1995, Crans-Montana

Normen

AFNOR P 18-588 (1991): Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin - Essai accéléré sur mortier Microbar. Association Française de Normalisation, Paris

AFNOR P 18-579 (1990): Granulats - essai d'abrasivité et de broyabilité. Association Française de Normalisation, Paris

DIN 4226 (1983): Zuschlag für Beton. Beuth Verlag GmbH, Berlin

PrEN 12620 (1996): Aggregates for concrete including those for use in roads and pavements. European Committee for Standardisation

PrEN 1097-2 (1995): Proposed final draft. Test for mechanical and physical properties of aggregates - Part 2: Methods for the determination of the resistance to fragmentation. European Committee for Standardisation

SIA V162.051 (1994): Beton - Eigenschaften, Herstellung, Verarbeitung und Gütenachweis (prEN 206). Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich

SIA 162/1 (1989): Betonbauten - Materialprüfung. Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich

SN 670130 (1998): Sand, Kies, Splitt und Schotter für Beläge. Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute, Zürich