Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 118 (2000)

Heft: 12

Artikel: Härtestabilisierung in kalkführenden Entwässerungen: Verhinderung von Kalkablagerungen

Autor: Galli, Marco

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79890

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: 27.08.2025

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

Alle 100 m befinden sich je Bankettseite ein Gewölbe- und in der Tunnelmitte ein Hauptdrainageschacht. Deren Dimensionen sind zum Einführen grösserer Kontroll- und Reinigungsroboter geeignet. Bei jedem Gewölbedrainageschacht ist eine Ableitung in die Hauptdrainage vorgesehen. Die Ableitungen werden aber über fallweise verschlossene Einleitungen so geregelt, dass in der Gewölbedrainage eine Rohrfüllung von etwa einem Drittel erreicht wird. Dadurch lässt sich die Versinterungstendenz weiter reduzieren. Hinzudosierter Härtestabilisator kann auf einer wesentlich längeren Leitungsstrecke wirken.

Die Gewölbedrainage läuft in den Gewölbedrainage-Schächten durch. Feinbestandteile werden bei der grösseren Wasserführung von selbst ausgeschwemmt. Der Unterhaltsaufwand kann mit diesem Entwässerungskonzept in Verbindung mit der Härtestabilisation drastisch reduziert werden.

Die Hauptdrainage besteht aus einem HDPE-Rohr NW 600. Polyethylen ist ausserordentlich beständig gegen saure und alkalische Medien sowie besonders bei Ausschluss der Verwendung von PE-Rezyklat schlagunempfindlich.

Ausblick

Allgemein sind sich sowohl Planer wie auch Auftraggeber nicht zuletzt aufgrund der Erfahrungen, die aus den Unterhaltsabteilungen der Tunnelbetreiber gewonnen wurden, des Problems der dauerhaft funktionierenden Tunnelentwässerung bewusst. Zudem haben im Tunnelbau in den letzten Jahren neue Technologien und weiterentwickelte Materialien Einzug gehalten.

Schon in den ersten Planungsphasen muss für jedes Tunnelbauwerk mit seinen speziellen Randbedingungen ein spezifisches Gesamtkonzept für die Tunnelentwässerung erarbeitet werden. Dabei ist die Zusammenarbeit zwischen den Planern des Rohbaus und den Unterhaltsabteilungen zwingend weiter zu intensivieren. Die Planungsseite kann so von den Erfahrungen der Unterhaltsdienste profitieren, und der Unterhaltsdienst kann anderseits seine spezifischen Anliegen früher und zielgerichteter einbringen.

Adresse der Verfasser:
Jan Dirk Chabot, dipl. Bauing. ETH/SIA, *Michael Rehbock-Sander*, Dipl.-Ing. TU, Amberg Ingenieurbüro AG, Trockenloostrasse 21, 8105 Regensdorf-Watt

Marco Galli, Glattbrugg

Härtestabilisierung in kalkführenden Entwässerungen

Verhinderung von Kalkablagerungen

Entwässerungssysteme sind vielfältige Elemente des Tief- und Tunnelbaus. Ihre primäre Funktion, Wasser zu sammeln und kontrolliert abzuführen, wird häufig durch Kalkablagerungen (Versinterungen) beeinträchtigt. Neben Massnahmen, die auf eine örtlich kontrollierte Ablagerung und eine Vereinfachung der konventionellen Reinigung abzielen, ist seit einigen Jahren auch die Konditionierung des Entwässerungswassers mit Härtestabilisator eine bewährte Methode, um Kalkablagerungen in den Griff zu bekommen.

Unter dem Begriff Entwässerungssysteme (EWS) können sehr verschiedene Bauwerke und Bauwerksbestandteile zusammengefasst werden (Bild 1). Sie können nach folgenden Kriterien grob eingeteilt werden:

Anordnung/Ausdehnung
- Punktförmige Entwässerungen (z.B. Entlastungsbohrungen)
- Linienförmige Entwässerungen (z.B. Tunnelrigolen, Sickerleitungen entlang Stützmauern)
- Flächenhafte Entwässerungen (z.B. Gewölbeentwässerung bei Tunneln, Flächendrainagen für Meliorationen)

Haupt-/Nebenbauwerk
- EWS als Hauptbauwerk: Das EWS bildet das eigentliche Bauwerk (z.B. Meliorationen, Grundwasserfassungen)
- EWS als Nebenbauwerk: Das EWS wird im Zusammenhang mit einem grösseren Hauptbauwerk erstellt (z.B. Tunnelentwässerung, Auftrieb Bohrungen unter Staumauer)
- EWS temporär: Vor allem bei Bauarbeiten (z.B. Wasserhaltung in Baugruben).

Bei Planung und Unterhalt werden EWS häufig in ihrer Wichtigkeit unterbewertet. Das gilt in besonderem Mass für EWS als Nebenbauwerke, die neben den Hauptbauwerken meist etwas in den Hintergrund geraten.

Doch EWS sind sehr wichtige Bauwerksbestandteile - ihr Versagen hat oft schwerwiegende Konsequenzen sowohl betreffend Dauerhaftigkeit und Funktionstüchtigkeit, aber auch betreffend Sicherheit. Dies zeigen folgende Beispiele:

Dauerhaftigkeit: Schlecht funktionierende EWS führen zur Vernässung tragender Bauteile. Deren Eigenschaften werden dadurch praktisch ausnahmslos verschlechtert. Ein ungünstigeres Alterungsverhalten und mechanische Beanspruchung infolge Kristallisationsdruck von Salzen oder durch Eisbildung führen insgesamt zu einer reduzierten Dauerhaftigkeit.

Funktionstüchtigkeit: Defekte EWS entlang Eisenbahnlinien (insbesondere in Tunneln) führen zu Vernässungen und zur Verschlammung des Schotterbettes. Dabei leidet die Stabilität der Gleislage (Setzungen, Verwindungen), was zu erhöhtem Unterhalt und möglicherweise zu einer Reduktion der zulässigen Streckengeschwindigkeiten führen kann.

Sicherheit: Versagt ein EWS, bildet sich ein Wasserdruck hinter Stützmauern oder Tunnelauskleidungen, der zu einer statischen Überbeanspruchung führen kann. Genauso können verstopfte EWS im Bereich von auftriebssenkenden Bohrungen von Staumauern die Standsicherheit dieser Talsperren nachteilig beeinflussen.

Damit ein EWS auf Dauer funktionstüchtig bleibt, sind vereinfacht folgende Kriterien zu erfüllen:

- Querschnitt: Der für den Betrieb nötige Querschnitt des EWS muss dauerhaft freigehalten werden - das gilt für den Wasserzutrittsort, den Transportweg und den Wasseraustrittsort.
- Gefälle: Das notwendige Gefälle für einen ungehinderten Wasserabfluss muss gewährleistet sein.
- Beschädigungen: Das EWS darf keine mechanischen Schäden erleiden.
- Unterhalt: Der Unterhalt muss gewährleistet sein.

Häufig gefährden Kalkablagerungen die Funktionstüchtigkeit von EWS. In solchen Fällen lassen sich die ersten beiden Forderungen grundsätzlich durch ein regelmässiges Reinigen erreichen. Dabei wird aber vorausgesetzt, dass das EWS überall zugänglich ist, was insbesondere für die Wasserzutrittsstellen häufig nicht der Fall ist. Zudem muss sich das EWS mit vertretbarem Aufwand reinigen lassen, was z.B. bei EWS in Tunneln problematisch ist. Die Ausführung in der Nacht in kurzen Zeitfenstern führt zu hohen Kosten. Um die dritte Forderung einzuhalten, dürfen die Reinigungsintervalle nicht zu lange werden, denn Kalkablagerungen tendieren ganz allgemein zur Erhärtung und Steinbildung: ältere Ablagerungen lassen sich ungleich schlechter entfernen als frisch abgelagerter Kalk. Die Reinigung muss bei hartem Kalk mechanisch durch Fräsen oder sogar durch Kettenschleudern erfolgen, die das Material der EWS stark beanspruchen oder zerstören - ein teurer Ersatz des EWS wäre die Folge.

Entwässerungssystem	Form	Art
Rigolen zur Längsentwässerung von Tunneln	L	NBW
Fussentwässerung von Stützmauern	P/L	NBW
Auftriebsreduktionsbohrung unter Staumauern	P/L	NBW
Flächendrainagen zur Amelioration landwirtsch. Nutzflächen	P	NBW
Sicker- und Hangwasserfassungen rund um Gebäude in Hanglage	L	NBW
Sicker- und Hangwasserfassungen zur Fernhaltung von Sauberwasser aus Deponien	L	NBW
Wasserhaltung in Baugruben	P/L/F	temp.
Grundwasserfassungen	P	HBW
Grundwasserabsenkungen während Bauphasen	P	NBW
Drainage Tunnelgewölbe (Noppenfolie und Fliese)	F	NBW
Drainageleitungen rund um Hochbauten	L	NBW

F Flächenförmig
L Linienförmig
P Punktförmig
HBW Hauptbauwerk
NBW Nebenbauwerk

1
Beispiele von Entwässerungsanlagen

2
Versinterungsbeispiel (hart): Autobahnstrassentunnel

3
Versinterungsbeispiel (wässrig, erhärtend, links teilweise entfernt): Hangwasserfassung

Kalkablagerungen

Die häufigste in Mitteleuropa anzutreffende Form von Versinterungen in EWS sind Kalkablagerungen, d.h. aus dem Berg- oder Sickerwasser ausfallendes Calciumcarbonat. Dieser Prozess findet in praktisch stehendem Wasser (z.B. in Schächten oder Ausgleichsbecken), in fliessendem Wasser (z.B. in Sickerpackung oder Rigolen) und in tropfendem Wasser (z.B. Sickerschlitze, Stalaktiten) statt. In einem volllaufenden Rohr treten die Ablagerungen zudem am ganzen Umfang auf. Die entstehenden Ablagerungen sind sehr vielfältig. Einige sind in den Bildern 2 bis 5 gezeigt: Sehr weiche, wässrige Strukturen, die bei blossem Berühren vollständig zerfallen, sind ebenso üblich wie steinharte Ablagerungen, die sich auch mit einem Pickel kaum entfernen lassen; auch der innere Aufbau, die Struktur und die Färbung können sehr stark variieren.

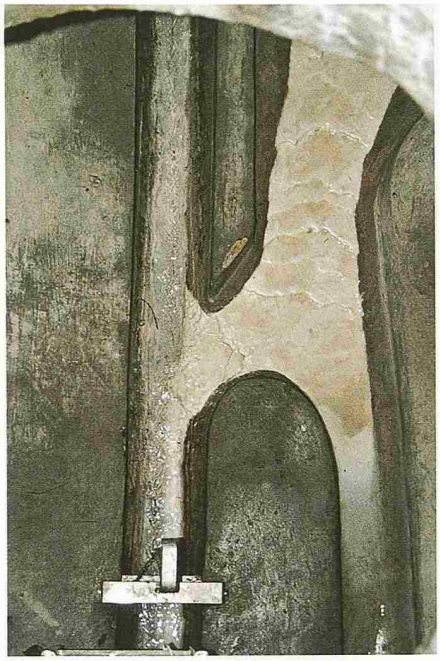
Ganz generell gelten die folgenden Zusammenhänge, wenn auch für alle Punkte Ausnahmen und Gegenbeispiele bekannt sind:

- Versinterungsrate: Sie ist hoch bei turbulenten Abflüssen, bei verstärkter Luftzufuhr oder grösserem Druckabbau, bei tiefen Fliessgeschwindigkeiten
- Härte: Die Ablagerungen sind hart bei schnellem Abfluss und bei laminaren Fliessverhältnissen
- Farbe: Eine weisse Färbung weist auf einen starken Einfluss zementöser Baustoffe hin - eine rötliche bis bräunliche Farbe auf eine eher saure Umgebung (Ausfällung von gelöstem Eisen; in beiden Fällen liegt der Kalkanteil im Allgemeinen bei über 95%).

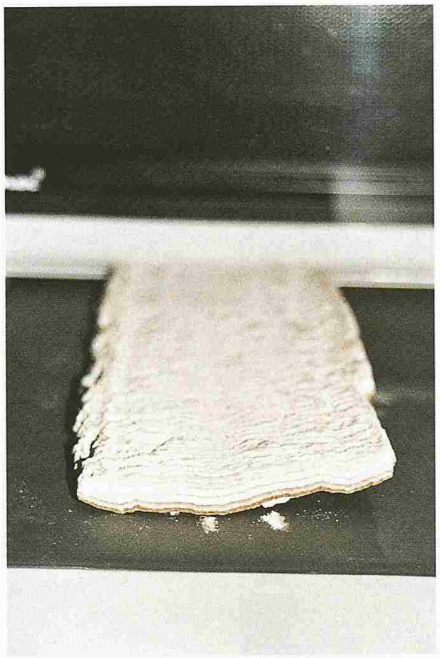
Eine Prognose der Versinterungsrate, der Härte der Ablagerungen oder deren Farbe ist schwierig, denn die den Ausfällvorgang bestimmenden Phänomene sind sehr komplex.

Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht

Der Ausfällvorgang kann durch das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht (KKG) grob beschrieben werden. Obwohl es damit auch unter Laborbedingungen kaum gelingt, quantitative Aussagen zu machen, erlaubt es doch, die grundsätzlichen Zusammenhänge aufzuzeigen. Kohlendioxid (CO_2) löst sich in Wasser in be-



4
Versinterungsbeispiel (links behandelt, rechts unbehandelt): Hangwasserfassung



5
Versinterungsbeispiel (steinhart): Steilstrecke einer Sickerwasserleitung

trächtlichen Mengen. Ein kleiner Teil davon bildet dabei Kohlensäure (H_2CO_3). Diese wiederum ist in der Lage, Kalk ($CaCO_3$) aus dem umgebenden Material zu lösen. Die wässrige Lösung enthält dann Hydrogencarbonationen (HCO_3^-) und Calciumionen (Ca^{2+}):

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 + CaCO_3 \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

Das KKG in seiner einfachsten Form (Tillmann'sches Gesetz) beschreibt nun die Löslichkeit von Kalk in Wasser wie folgt:

$$C_{CO_2} = K_T \cdot C_{2HCO_3^-} \cdot C_{Ca^{2+}}$$

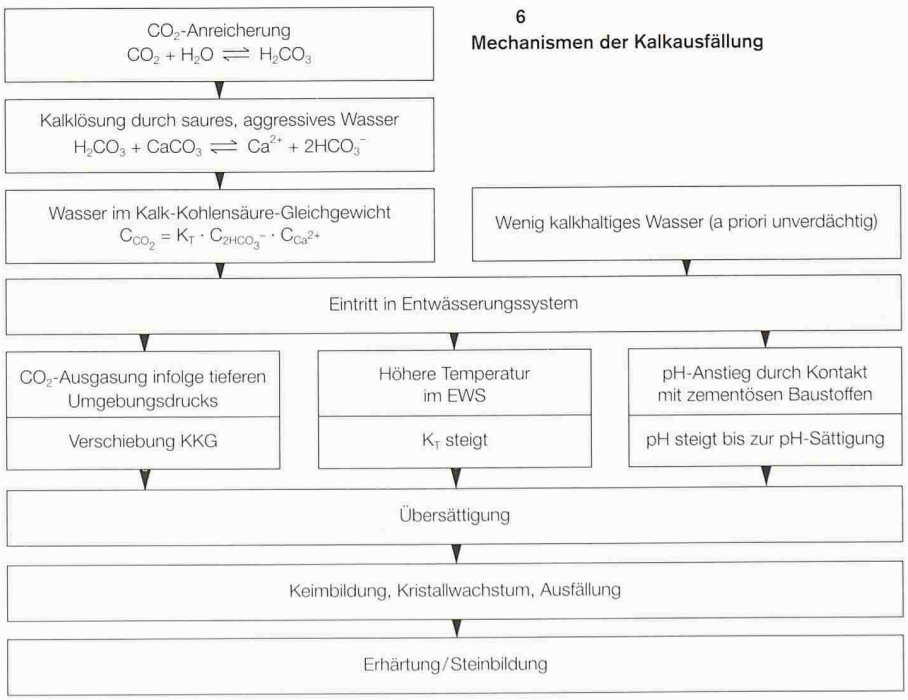
Grob gesagt bestimmt also das vorhandene Kohlendioxid (linke Seite) die im Wasser gelöste Menge Kalk in Form von Hydrogencarbonat und Calcium (rechte Seite). Der Proportionalitätsfaktor K_T (Tillmann-Konstante) ist dabei temperaturabhängig. Das KKG wird aber auch vom pH-Wert des Wassers bestimmt:

$$pH_{Sättigung} = pK^* - \lg C_{Ca^{2+}} - \lg C_{2HCO_3^-} + \lg f_L$$

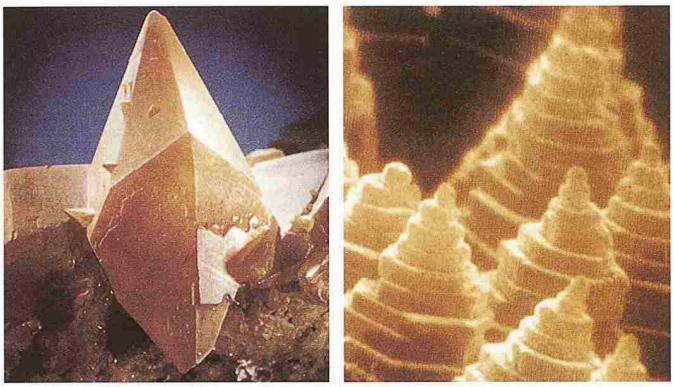
Dieser Zusammenhang sagt im Wesentlichen aus, dass in einem gegebenen Wasser (pK^*, f_L) der vorhandene pH-Wert die Kalklöslichkeit begrenzt. Ein erhöhter pH-Wert führt zu einer Reduktion der Kalklöslichkeit, bei hohen pH-Werten ($pH > pK^* + \lg f_L \approx 9$) ist keine Lösung von Kalk mehr möglich. Aus diesen Zusammenhängen lassen sich die Verhältnisse für ein typisches Bergwasser wie folgt ableiten (Bild 6):

- CO_2-Anreicherung: Das Bergwasser reichert sich in tiefer liegenden Erdschichten mit Kohlendioxid und Kohlensäure an (organische Umwandlungsprozesse). Je höher dabei der Druck und je tiefer die Temperatur sind, desto mehr Kohlensäure kann vom Wasser aufgenommen werden.
- Kalk-Lösung: Das Bergwasser wird damit sauer und aggressiv. Es ist in der Lage, Kalk zu lösen, bis sich das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht einstellt.
- Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht: Der Kalk bleibt so lange stabil (d.h. gelöst im Wasser), wie das KKG nicht durch äussere Einflüsse verschoben wird.
- CO_2-Ausgasung: Dringt das Bergwasser nun in ein EWS ein, so wird in aller Regel der Umgebungsdruck kleiner, CO_2 gast in der Folge aus dem Wasser aus und, damit verbunden, muss auch Kalk aus der Lösung ausfallen.
- pH-Anstieg: Kommt das Bergwasser vor Eindringen in das EWS noch mit zementösen Baustoffen in Kontakt, wird sein pH-Wert durch das alkalische Milieu deutlich angehoben. Damit verbunden ist ebenfalls eine Reduktion der Kalk-Löslichkeit, eine Ausfällung findet statt.
- Temperaturanstieg: Schliesslich kann – vor allem im Sommer – auch die Temperatur eine Rolle spielen. Ist das Bergwasser eher kalt und gelangt es im EWS in eine deutlich wärmere Umgebung, so führt auch die Temperaturerhöhung zu einer zusätzlichen Verminderung der Löslichkeit.

Der genannte Effekt der pH-Verschiebung führt selbst bei scheinbar unbedenklichen



6
Mechanismen der Kalkausfällung



7
Calcit-Kristallwachstum. links: ohne, rechts: mit polyamidbasiertem Härtestabilisator

8
Depotsteine (Tabletten und Block) nach dreimonatigem Einsatz

Wässern aus nicht-kalkigen Formationen zu Problemen. Entwässerungwasser, das lange mit alkalischen, zementgebundenen Baustoffen (z.B. Gunitabdichtungen, Sickerbetonkonstruktionen oder Injektionen) in Berührung ist, verzeichnet einen markanten pH-Anstieg. Häufig steigt er so hoch, dass kein Kalk mehr in Lösung gehalten werden kann (ab pH 9 bis 10); es findet eine praktisch vollständige Kalkausfällung statt.

Die Beschreibung des komplexen Ausfällvorgangs ist mit den zwei weiter oben gegebenen Formeln nicht vollständig. So wird die Löslichkeit von Kalk in Wasser z.B. auch stark vom Vorhandensein anderer Salze und dem Redoxverhalten der Lösungsbestandteile beeinflusst. Um die Versinterungsanfälligkeit von Wässern besser bestimmen zu können, werden deshalb weitere Kenngrössen bestimmt, so z.B. der Sättigungsindex SI oder der Stabilitätsindex nach Ryznar. Dennoch bleibt es während der Projektierung von Bauwerken schwierig, die Gefahr betreffend Versinterungen einzuschätzen - häufig kann die Situation erst im Betrieb richtig erfasst werden. Für die neuen Alpentransversalen wurde aber ein neuer Ansatz vorgeschlagen, der auf baubegleitenden Wasseruntersuchungen vor Ort basiert (S. 248).

Härtestabilisierung

Die klassischen Methoden im Umgang mit Versinterungen im EWS sind:

- Reinigungsfreundliche Projektierung des EWS; regelmässige Reinigung
- Vorhalten von Querschnittsreserven für Versinterungen
- Örtlich kontrollierte Ablagerungen durch Vorsehen eigentlicher Versinterungszonen
- Siphonierung zur Verminderung der CO_2-Ausgasung.

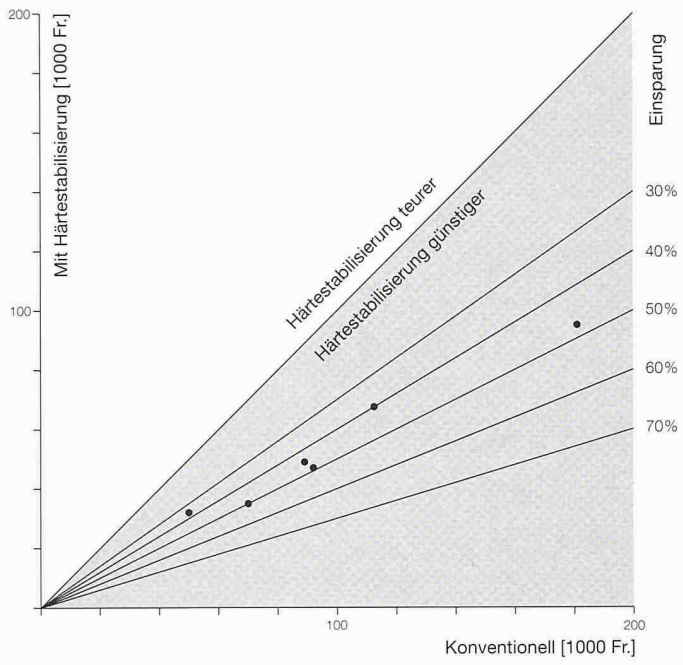
Die ersten beiden Methoden beeinflussen den Vorgang der Versinterung nicht. Mit den beiden nachfolgenden Massnahmen hingegen sollen die Ablagerungen im Sinne einer Reinigungs-Optimierung gesteuert werden. Kalk soll sich erst dort ablagern können, wo er mit verhältnismässig kleinem Aufwand entfernt werden kann.

Die Härtestabilisierung steuert im Gegensatz dazu den Versinterungsvorgang, indem durch Konditionierung des Entwässerungswassers eine Ausfällreaktion verhindert wird. Das Wasser wird im EWS möglichst früh auf seinem Fliessweg mit einem Wirkstoff (dem Härtestabilisator) geimpft. Schon kleinste Konzentrationen (einige ppm = g/m^3 Wasser) reichen aus, um Ablagerungen zu verhindern. Sterische und elektrostatische Effekte führen dabei zu einer erhöhten Dispergierbarkeit: Die wachsenden Kalkkristalle werden einerseits in ihrem Wachstum behindert (Bild 7), anderseits werden sie im Wasser in Schwebe gehalten, wobei es sich in beiden Fällen um physikalische und nicht um chemische Prozesse handelt. Findet - besonders bei tiefen Fliessgeschwindigkeiten oder bei stark alkalischen Wässern - trotzdem eine Ablagerung statt, ist ihre Struktur sehr viel weicher (häufig griesig bis schlammig) als die der Ausfällungen aus dem unbehandelten Wasser. Die Ablagerungen des härtestabilisierten Wassers lassen sich sehr gut konventionell durch Spülen entfernen. Das ganze Verfahren lehnt sich an Techniken aus der Kühlwasserbehandlung an und wurde von Marcel C. Wegmüller entwickelt und patentiert.

Der zugegebene Wirkstoff ist kein Wasserenthärter: Wird die Calciumhärte vor und nach der Behandlung gemessen, so stellt man eine Erhöhung der Härtewerte fest: Der gelöste Kalk kann im Beisein des Wirkstoffs nicht mehr ausfallen, die Kalkhärte wird im Wasser «stabilisiert» (daher der Name), das Wasser bleibt hart.

Die Zugabe des Härtestabilisators kann grundsätzlich in flüssiger oder fester Form erfolgen. Bei der Flüssigdosierung wird der zähflüssige Härtestabilisator in einer Anlage über Dosierpumpen dem Entwässerungswasser zugegeben. Die Dosierung wird dabei auf die mittlere Wassermenge am Ende des zu behandelnden Abschnitts ausgelegt. Die Vermischung mit dem laufend zutretenden Sickerwasser reicht aus, um die gewünschte Wirkung zu erzielen. Im Allgemeinen ist die Dosierung unabhängig von der aktuell vorhandenen Wasserführung. Es hat sich gezeigt, dass die im Zuge von Regenereignissen auftretenden Spitzen der Wasserführung praktisch keinen Beitrag zur Versinterung leisten.

Bei der Projektierung von Anlagen zur Flüssigdosierung sind neben den Platzverhältnissen (Tank), der Nachfüllbarkeit und der Wartbarkeit insbesondere auch die klimatischen Verhältnisse (Kälte), die Stromversorgung und das dauernde Vorhandensein einer Wasserführung zu prüfen. Fehlt die Letztere, kann allenfalls mit Verdünnungswasser gearbeitet werden. Bei Verwendung des Härtestabilisators in fester Form werden so genannte Depotsteine in Tabletten- oder Blockform im Entwässerungssystem ausgelegt (Bild 8).



9
Jährliche Unterhaltskosten von Tunnelentwässerungen (u.a. oberer Hauenstein, VBZ-Tramtunnel, Südabschnitt des Furkabasistunnels)

Sie enthalten den härtestabilisierenden Wirkstoff, gemischt mit einer schwerlöslichen Trägersubstanz. Im sie umfliessenden Wasser lösen sie sich langsam auf und impfen in dieser Weise das Entwässerungswasser. Depotsteine können an fast allen Orten des EWS ausgelegt werden (z.B. in Schächten, Bohrlöchern, Drainagehohlräumen, Sickerpackungen und EWS-Leitungen). Depotsteine können auch in den Sickerschichten oberhalb und rund um eine Sickerleitung eingebracht werden. Damit kann das Wasser schon vor dem Eintritt ins Entwässerungssystem behandelt und einem Versintern der Sickerlöcher oder -schlitze vorgebeugt werden. Ein derartiger Einsatz von Depotsteinen wird für die Basistunnel der neuen Alpentransversalen geprüft.

Depotsteine sind insbesondere bei kleinen und sporadischen Wasserführungen interessant, da sie nur bei Vorhandensein von Wasser Wirkstoff abgeben. Wassermenge, Fliessregime, Wasserqualität und Standort der Depotsteine beeinflussen die notwendige Dosierung sehr stark - zu Beginn des Einsatzes ist deshalb eine Optimierungsphase vorzusehen.

Wirksamkeit

Die Wirksamkeit der Härtestabilisierung wurde in umfangreichen Versuchen geprüft: So wurden bereits 1993 im Isla-Bella-Strassentunnel der A13 oder 1994 im alten Hauensteintunnel der SBB Anlagen installiert. Während der Versuchsphase wurde ein unbehandelter Rigolenabschnitt mit einem behandelten verglichen. Es wurde nachgewiesen, dass bereits sehr kleine Dosierungen des Härtestabilisators ein praktisch vollständiges Ausbleiben der Versinterungen bewirken. Heute stehen in der Schweiz etwa 30, im Ausland 10 Anlagen in Betrieb.

Wirtschaftlichkeit

In Fällen, in denen der im Entwässerungssystem anfallende Kalk weich genug ist, um konventionell ausgespült werden zu können, wird Härtestabilisierung nur dann in Betracht gezogen, wenn damit ein wirtschaftlicherer Unterhalt möglich ist. In Fällen mit harten Kalkablagerungen ist die Härtestabilisierung aber möglicherweise die einzige technische Lösung, um das Entwässerungssystem auf Dauer funktionsfähig zu erhalten (keine mechanische Beschädigung der EWS). Die bisherigen Erfahrungen mit HS-Anlagen zur Flüssigdosierung zeigen eine ausgezeichnete Wirtschaftlichkeit.

Naturgemäss wurden sie an Orten installiert, wo mit grossen Versinterungsproblemen gekämpft wurde und sich der Unterhalt sehr aufwendig gestaltete. Für eine Gruppe von Anlagen, vorwiegend in Eisenbahntunneln, wurde die Wirtschaftlichkeit untersucht. Es wurden berücksichtigt:

Für konventionellen Unterhalt:
- Bahnpersonal und Traktion
- Spülfirma mit Geräten und Personal
- Leistungswerte in Abhängigkeit von Kalkhärte, Zeitfenster, Erschwernissen (Wasserzufuhr, Zugsdichte usw.).

Für Unterhalt mit Härtestabilisierung:
- Amortisation (Anlagenplanung, Installation, Bewilligung)
- Härtestabilisator
- Analytik
- Service, Kontrollen inkl. bahnseitiger Aufwendungen
- Spülen (Sand, übrige Ablagerungen) in grösseren Zeitabständen.

Folgende Faktoren, die sich für den Einsatz von Härtestabilisierung günstig auswirken, wurden nicht berücksichtigt:
- erhöhte Lebensdauer des Entwässerungssystems (keine Beschädigung durch mechanische Reinigung)
- Dispergierung der übrigen gelösten Feinanteile im Entwässerungswasser.

In den untersuchten Fällen resultierten jeweils Einsparungen von 36 bis 50% beim Einsatz von Härtestabilisatoren, was je nach Anlage 18 000 bis 85 000 Franken pro Jahr entspricht (Bild 9).

Umwelt

Der Einsatz von Härtestabilisatoren muss von den zuständigen Stellen für Umwelt- und Gewässerschutz bewilligt werden. Die zum Einsatz gelangenden Stoffe sind:
- Polyamide (v.a. in flüssiger Form): biologisch abbaubar, Wassergefährdungsklasse 0
- Polycarbonsäuren (v.a. in fester Form): P- und N-frei, Wassergefährdungsklasse 1.

Der Einsatz dieser Wirkstoffe wurde von verschiedenen Ämtern eingehend untersucht und in allen bisher angefragten Kantonen für den Dauerbetrieb bewilligt.

Fazit

Mit der Härtestablisierung steht eine Methode zur Verfügung, Entwässerungssysteme des Strassen-, Bahn-, Tief-, und Tunnelbaus dauerhaft vor Versinterungen zu schützen. Diese Wasserkonditionierung basiert auf physikalischen Prozessen, die bereits bei Wirkstoffkonzentrationen von wenigen ppm eine Kalkausfällung verhindern. Die Wirksamkeit kann dank der mittlerweile rund 40 bestehenden Anlagen sehr gut beurteilt werden. Zudem lassen sich beim Unterhalt Kosteneinsparungen von häufig gegen 50% erzielen.

Adresse des Verfassers:
Marco Galli, dipl. Bauing. ETH, Ingenieurbüro Galli + Partner AG, Industriestrasse 57, 8152 Glattbrugg