Entwässerung bergmännischer Tunnel - neue Tendenzen

Autor(en): **Chabor, Jan Dirk / Rehbock-Sander, Michael**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **118 (2000)**

Heft 12

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-79889

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Jan Dirk Chabot, Michael Rehbock-Sander, Regensdorf

Entwässerung bergmännischer Tunnel – neue Tendenzen

Die heutigen Tunnelbaumethoden erlauben den präziseren Ausbruch und vermindern den toten Raum hinter dem Gewölbe. Die nun schlankeren Entwässerungssysteme werden damit aber – um dauerhaft zu funktionieren – höheren Anforderungen ausgesetzt. Insbesondere müssen sie der Versinterung und Verstopfung durch aus dem Bergwasser gelösten Kalk trotzen können.

Im 19. und bis zur Mitte des 20 Jahrhunderts wurden bergmännische Tunnel ausschliesslich drainierend, d.h. mit druckloser Ableitung des Bergwassers ausgebildet. Bei den gemauerten Tunneln diente dabei der mit Blocksteinen verfüllte Hohlraum zwischen Fels und Tunnelgewölbe als Drainageraum. Mit Blechverkleidungen, Ziegelrohren, Dichtputzen und Fugenmörtel wurden die Wassereintrittstellen im Firstbereich gefasst und über Schlitze im Widerlagerbereich in den Tunnelinnenraum geleitet [1]. Die Längsentwässerungen bestanden meist aus offenen oder geschlossenen Rinnenelementen und wurden am tiefsten Punkt der Sohle angeordnet. Der Hohlraum hinter der gemauerten Innenauskleidung bietet bei den bestehenden Tunneln mit diesem Ausbau meist auch heute noch einen Drainageraum, der in der Regel im Stande ist, die teilweise massiven Kalkablagerungen aus dem Bergwasser aufzunehmen. Dadurch kann auch nach Jahrzehnten kein nennenswerter Wasserdruck auf das Innengewölbe entstehen. Die Tunnelentwässerung wurde mit abgedeckten Rechteckkanälen, später mit Zementrohren bewerkstelligt. Selbst mit modernsten Reinigungsgeräten lassen sich Rechteckkanäle nur erschwert reinigen. Die verwendeten Entwässerungselemente waren kurz und konnten nicht dicht miteinander verbunden werden. So konnte Bergwasser in trockenes, aber quellfähiges Gestein eindringen, und Quellhebungen in der Sohle führten zu neuen Undichtigkeiten in oder zwischen den Drainageelementen.

In den zurückliegenden 50 Jahren ermöglichte das Aufkommen heutiger Tunnelbaumethoden und Sicherungsmittel, auf den toten Raum einer Blockhinterfüllung des Gewölbes zu verzichten. Dies stellte aber gleichzeitig neue Anforderungen an die Tunnelentwässerung (Bild 1).

Anforderungen aus dem Gewässerschutz

Das Gewässerschutzgesetz verlangt neben der Reinhaltung des Grundwassers zusätzlich die mengenmässige Erhaltung der Grundwasservorkommen. So sollen bei Untertagebauten dauernde Grundwasserspiegelabsenkungen vermieden werden [2]. Allfällige Grundwasserableitungen sollen auf die Bauzeit beschränkt bleiben und mengenmässig den Grundwassernachfluss nicht überschreiten. Um diese Vorgaben zu erfüllen, sind unter Umständen Injektionen in Klüften und Störzonen vorzunehmen.

Die im Tunnelbau anfallenden Bergwässer müssen den Anforderungen an die Einleitbedingungen in Vorfluter genügen. Dies erfordert während der Bauzeit in der Regel eine Wasserbehandlunganlage, bestehend aus Reinigungs- und Absetzeinrichtungen sowie einer Neutralisation.

Bei den definitiven Tunnelentwässerungen mit getrennter Bergwasser- und Fahrbahnentwässerung können die gewöhnlicherweise geringen Wassermengen der Fahrbahnentwässerung nach einem Rückhalte- oder Auffangbecken und einer mechanischen Vorbehandlung direkt der Abwasserreinigung zugeführt werden. Mit einer nachgeschalteten Klein-Kläranlage kann auch Fahrbahnwasser direkt in eine ausreichend wasserführende Vorflut geleitet werden. Für die Betriebsphase ist eine Neutralisation meistens nicht mehr erforderlich. Waschwasser kann je nach Reinigungszusätzen ebenfalls so aufbereitet oder muss andernfalls fortwährend abgesogen werden.

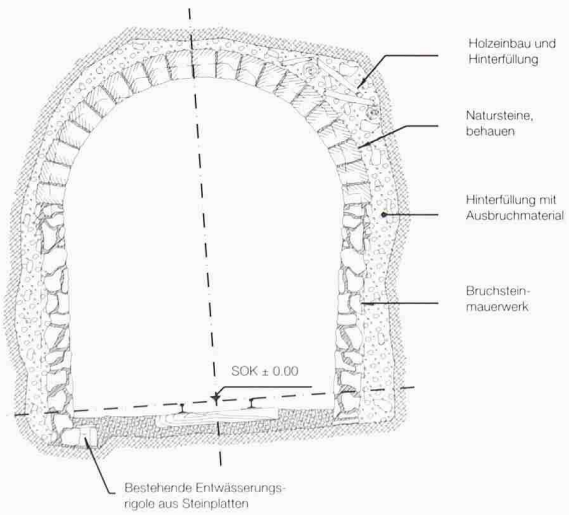
Tunnelentwässerungs- und Abdichtungskonzepte

Nachfolgend werden die im Tunnelbau gebräuchlichen Abdichtungs- und Tunnelentwässerungskonzepte beschrieben [3, 4, 5, 6].

Ohne Drainage (druckwasserhaltende Tunnelabdichtung)

Bei einem druckwasserhaltenden Tunnel entfällt die Entwässerung. Dieses System wurde bisher bei Tunneln mit Wasserspiegelüberlagerungen von 30 m angewandt, 60 m sind heute als oberer Grenzwert zu betrachten [7]. Theoretisch sind noch höhere Wasserdrücke möglich, aber der Abdichtungsaufwand sowie die erforderliche Stützkraft der Verkleidung steigt beträchtlich. Kreisförmige Tunnelprofile bedürfen bis zu diesem Wasserdruck von 6 bar in der Regel keiner zusätzlichen Verstärkungen. Somit ist bei geringer Überlagerung eine druckhaltende Abdichtung technisch beherrschbar. Zudem kann durch den Wegfall der Unterhaltsarbeiten von bis zu sechs Drainageleitungen in der Tunnelsohle dieses System über eine Nutzungsdauer von 50 bis 100 Jahren wirtschaftlich interessant werden.

Aus Erfahrung empfiehlt es sich aber, auch bei einer sorgfältig konzipierten und ausgeführten Rundumabdichtung zur Ab-



1 Beispiel Normalprofil eines gemauerten Tunnels mit Hohlraumverfüllung

leitung von allfälligem Leckwasser eine Leckwasserdrainage vorzusehen.

Teilweise drainiert (Teilentspannung)

Bei Wasserdrücken über 6 bar kann der Tunnel zur Druckbeschränkung teilweise drainiert erstellt werden. Der Bahntunnel «Freudenstein» der DB-Neubaustrecke Mannheim-Stuttgart wurde mit einer Rundumabdichtung versehen, gleichzeitig wird mit einer Teilentspannung der Wasserdruck auf ein vorbestimmtes Niveau begrenzt [5, 6]. Dadurch kann die Wasserentnahme aus dem umliegenden Gebiet erheblich reduziert werden. Es stellt sich ein neuer Grundwasserspiegel ein, der zwischen dem ursprünglichen Grundwasserspiegel und dem Tunnelfirst zu liegen kommt.

Drainierter Tunnel (druckloser Wasserabfluss)

Bei sehr hohen Überlagerungen und entsprechend hohem Bergwasserdruck kann aus wirtschaftlichen und praktischen Gründen nur noch ein drainierter Tunnel den statischen Anforderungen genügen. Während des Vortriebs wird der Wasserandrang mit Injektionen reduziert [8].

Das aus dem Gebirge anfallende Bergwasser wird drucklos gefasst und abgeleitet. Das Tunnelgewölbe muss nicht auf Wasserdruck bemessen werden. Die Sohle kann bei Bedarf flach ausgebildet werden. Die Drainage soll einen dauerhaften drucklosen Wasserabfluss gewährleisten und einfach zu warten sein. Ein drainierter Tunnel kann einschalig oder zweischalig mit Abdichtung erstellt werden.

Mischkonzepte

Längere Tunnelbauwerke können durch «weitgehend» trockene und wasserführende Zonen führen. Die Längenverhältnisse der verschiedenen Bereiche bestimmen, ob sich in diesem Fall Mischkonzepte lohnen. Die Tunnelabdichtung kann in «trockenen» Zonen vereinfacht ausgeführt werden. Die Übergänge zwischen druckhaltenden und drainierten Bereichen sind zur Vermeidung von Umläufigkeiten sorgfältig zu planen und auszuführen (Bild 2).

Wasserableitungssysteme

Ein Entwässerungssystem kann als Misch- oder Trennsystem ausgeführt werden. Beim Mischsystem wird das Bergwasser zusammen mit den Wässern des Tunnelinnenraums (inkl. Havariewässer) in einem einzigen Leitungssystem abgeführt. Solche Systeme bestehen in den meisten Bahntunnels und in vielen älteren Strassentunnels. Das Mischsystem erfordert aber ausreichende Auffangvorrichtungen für das Zurückhalten von Havarieflüssigkeiten sowie allfällige Abwasserreinigungsanlagen vor dem Einleiten in die Vorflut.

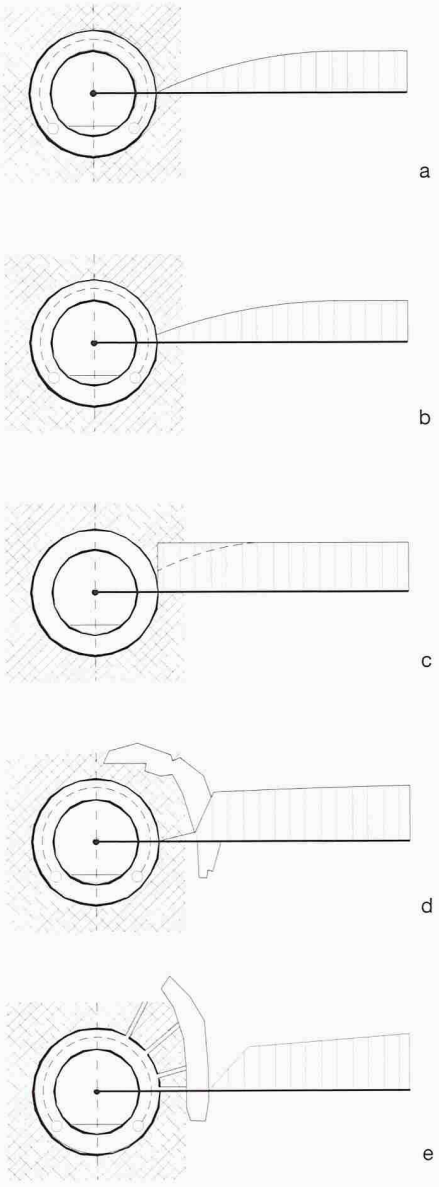
Beim Trennsystem wird Wasser aus dem Tunnelinnenraum (inkl. Havariewässer) getrennt von der Bergwasserdrainage abgeführt. Damit bleibt das Bergwasser unbelastet von möglichen Verunreinigungen durch Fahrzeuge oder Transportgut [2]. Gleichzeitig reduzieren sich die Abmessungen für die notwendigen Auffangvorrichtungen für Havarieflüssigkeiten an den Portalen. Die Leitung und die Schächte des Trennsystems sind für den Havariefall zu optimieren. So kann beispielsweise durch ein rasches Ableiten der brennbaren Flüssigkeiten in einem Havariefall der Brandherd räumlich begrenzt werden. (z.B. Schlitzrinnen in Strassentunnels).

Entwässerungssysteme

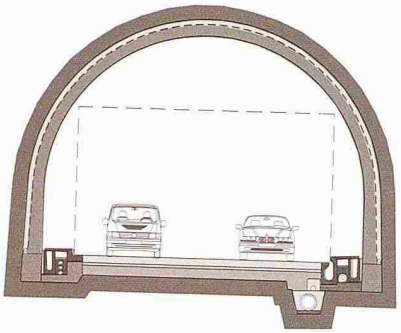
Im primären Entwässerungssystem wird das Bergwasser neben den direkten Fassungen mit Drains oder Rohren auch flächig zwischen Spritzbetonsicherung und Abdichtung gefasst und der Gewölbedrainageleitung zugeführt. Das primäre Entwässerungssystem umfasst die folgenden Teile:

- Mit flexiblen Halbschalen, so genannten Drains, werden einzelne Tropfstellen bzw. Feuchtstellen gefasst und fischgratartig zu Sammelsträngen vereinigt
- Flächige oder in Streifen ausgelegte Noppenbahnen dienen der Wasserableitung bei Feuchtstellen oder Kluftscharen und somit zur Verhinderung eines Wasserdruckaufbaus
- Vliese, Drainagematten, Noppenpolatten oder Kunststoffgitter werden als Schutzlage einer Abdichtung und zum Ableiten von Tropf- oder Feuchtstellen verlegt. Deren Transmissivitäten können sich durch kombinierte Druck-/Schubeinwirkung sowie Versinterung erheblich reduzieren.
- Einzelne Quellen werden mit HDPE-Rohren (ø > 150 mm) gefasst und der Hauptdrainageleitung zugeführt.

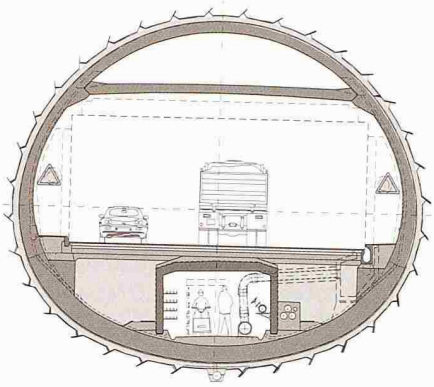
Die Elemente des primären Entwässerungssystems sind nach dem Einbau nicht mehr zugänglich und können deshalb nicht unterhalten werden. Dieser zentrale Aspekt muss bei der Planung des Entwässerungssystems berücksichtigt werden. Zum sekundären Entwässerungssystem gehören die Gewölbedrainage, Sohlendrainagen, Stichleitungen, die Hauptdrainage sowie alle dazugehörigen Schächte und Nischen. Diese Elemente sind im Allgemeinen zugänglich. Gewölbedrainagen sollten einen Mindestdurchmesser von 200 mm aufweisen, damit sich ankündigende Verstopfungen infolge Versinterungen auch bei längeren Reinigungsintervallen rationell und sicher entfernen lassen. Grössere Rohrinnendurchmesser erlauben den Einsatz stärkerer und leistungsfähigerer Reinigungs- und Kontrollgeräte. Die Vorgaben für zeitlich kurze Rei-



2
Wasserdruckaufbau beim Zufluss zum Tunnelhohlraum. a: drainierter Tunnel, b: Teilentspannung des Wasserdrucks, c: wasserdruckhaltender Tunnel, d: Wasserverdrängung durch Injektionen, e: zusätzliche Druckentlastung durch Entwässerungsbohrungen



3
Beispiel eines konventionell aufgefahrenen Tunnels, Entwässerung in den Bankettbereichen



4
Beispiel eines maschinell aufgefahrenen Tunnels, druckentlastende Entwässerung unter der Sohle

nigungs- und Kontrollarbeiten können mit diesen Geräten erfüllt werden, Unterhaltsfenster werden effizienter genutzt.

Alle Elemente des sekundären Tunnelentwässerungssystems müssen jederzeit und in geeigneter Weise zugänglich sein. Sind keine oder zu wenige Spülschächte oder sind (z.B. in Ausführungsplänen nicht eingezeichnete) Hindernisse wie Leitungsbogen vorhanden, kann der Unterhaltsdienst mit seinen Geräten die Gewölbedrainage nicht genügend reinigen. Kürzere Schachtabstände erleichtern die Zugänglichkeit, beim Spülvorgang bleibt der Wasserdruck am Schlauchende auf hohem Niveau. Die Schächte bzw. die Nischen müssen ausreichend dimensioniert sein, damit Kamera- bzw. Fräsroboter rasch eingeführt werden können (Bild 3 und 4).

Hydrogeologische Prognoseverfahren

Zur Planung eines Tunnelbauwerks gehören selbstverständlich auch die hydrogeologischen Prognosen. Diese Unterlagen bilden die Grundlage für das Entwässerungskonzept des neuen Bauwerks. Neben der Wasserquantität müssen auch der Wasserchemismus, die Baustoffaggressivität sowie der Sättigungsgrad gegenüber Calzium jedes Bergwassertyps vorbestimmt werden [9].

Zu beachten ist, dass sich durch den Bau eines Tunnels die hydrogeologischen Verhältnisse langfristig ändern können. (Bergwasserspiegel, Zufluss). Ergiebige Tropfstellen können versiegen, während anfänglich trockene Tunnelabschnitte nach Jahrzehnten wasserführend werden. Bei der Festlegung des primären Entwässerungssystems ist dies zu berücksichtigen.

Versinterungen durch Bergwasser

Die Versinterungstendenz hängt von der Art des zuströmenden Bergwassers ab. Bei zu Ablagerungen führendem Bergwasser handelt es sich entweder um natürliches, kalkübersättigtes oder um durch Zementkontakt alkalisch gewordenes Bergwasser, das zusätzlich Kalk aus dem Zement herausgelöst hat [10].

Calziumgesättigte Bergwässer lagern im Drainagesystem Calzium in Funktion von Druck-, pH-Wert und Temperatur ab (Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht). Calziumgesättigtes Bergwasser verliert 5 bis 10% seines Gesamtkalkgehalts in den Entwässerungsleitungen; die Versinterungsrate ist mehr oder weniger konstant. Neben Wässern aus Kalk- und Mergelschichten zeigen auch Wässer aus der Molasse eine starke Versinterungstendenz. Anzumerken ist, dass bereits schwach mineralisierte Bergwässer mit nur einigen Milligramm Calzium pro Liter zur Versinterung neigen können.

Durch den intensiven Kontakt des Bergwassers mit zementhaltigen Baustoffen wird der ursprünglich neutrale pH-Wert des Bergwassers in den stark basischen Bereich verschoben. Dabei werden Calziumhydroxid aus dem Zementstein und Natrium-Aluminiumkarbonate aus den Abbindebeschleunigern gelöst und damit der Kalkgehalt des Wassers erhöht. Diese Erhöhung des pH-Werts von ursprünglich 6 bis 8 auf über 10 bis 11 führt zur vollständigen Ausfällung des im Bergwasser gelösten Calziums (Änderung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts). Enthält der Baustoff zusätzlich ungeeignete Zusatzmittel (wie z.B. Wasserglas), kann sich die Versinterungsneigung nochmals verstärken [10].

Bei den heute verwendeten Spritzbetonmischungen mit «alkalifreien» Beschleunigern nimmt die Auslaugneigung tendenziell mit der Zeit langsam ab.

Bergwasser aus Tropfstellen wird mit an der Gewölbesicherung angemauerten Halbschalen gefasst oder sickert durch feine Risse im Spritzbeton und gelangt in die Gewölbedrainageleitung. Auch bei maschinell aufgefahrenen Tunneln mit Sohltübbings kann Bergwasser mit der Mörtelunterfüllung der Sohltübbings in Kontakt treten, bevor es in die Sohldrainage gelangt. Geringe Wassermengen und lange Fliessstrecken bewirken lange Kontaktzeiten des Bergwassers und verstärken damit die Ablagerungsneigung vor dem Eintritt in das Entwässerungssystem. Versinterungsstärke und -geschwindigkeit sind Funktion eines komplexen Zusammenspiels der Komponenten Bergwasser, Zement, Betonzusätze und Zuschlagsstoffe [11].

Oft wird zur Vermeidung von Versinterungen versucht, die Gewölbedrainageleitungen mit Siphons zu bestücken. Dieses Prinzip funktioniert jedoch nur bei kalkgesättigtem Bergwasser mit ausgeglichenem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht und geringem Bergwasserdruck (bis 30 m Wassersäule). Bei höheren Drücken, kohlensauren Bergwasserzuflüssen und pH-Wert-Erhöhung durch alkalische Baustoffe genügt dieses Verfahren nicht.

Treten wegen Versinterungen Rohrverschlüsse auf, resultiert neben der eingeschränkten Nutzung des Bauwerks meist ein unverhältnismässig hoher Aufwand zur Schadensbehebung. Oft lassen sich die zugesinterten Entwässerungselemente nicht mehr reinigen und müssen mühsam ersetzt werden. Verstopfte Sickerpackungen um die Drainagerohre lassen sich zudem kaum mehr regenerieren [12]. Tritt dieser Schaden über längere Abschnitte auf, muss mit einem Ansteigen des Wasserdrucks gerechnet werden, der nur noch mittels Symptombekämpfung, wie Entlastungsbohrungen, reduziert werden kann.

Die häufigsten Probleme

Nachfolgend sind einige Beispiele aufgelistet, die zu Problemen bzw. zum Versagen der Drainageeinrichtungen in Schweizer Tunneln geführt haben.

- Ungenügende Durchmesser und Krümmungsradien der Entwässerungsleitungsrohre: Durchmesser von 100 mm oder weniger sind für eine Gewölbedrainageleitung unbrauchbar. Rohrdurchmesser von 150 mm bieten auch bei engen Nischenab-

ständen keine Reserven. Bei diesem Rohrdurchmesser können nur leichte Reinigungs- und Inspektionsgeräte eingesetzt werden. Bei einigen Tunneln aus den 60er Jahren wurden am Gewölbefuss statt Rohren nicht unterhaltbare 90°-Halbschalen verwendet [13], nach deren Zusintern sich ein Wasserdruck bildete. Neben der Wasserumläufigkeit entstehen Risse im Gewölbe (Bild 5) [14]. Beton wird bei Einstau in aggressivem Bergwasser unnötig chemisch beansprucht [3].



5
Wassereintritte durch Risse im Tunnelgewölbe infolge Wasserdruckaufbau

- Falsche Wahl der Rohrmaterialien: Neben Rohren aus Hart-PVC und PE wurden auch solche aus zementösen Materialien verwendet (z.B. Sickerbeton). Letztgenannte sind besonders versinterungsanfällig. Deren Hohlraumstruktur kann auch mit Hochdruckreinigung nicht freigespült werden.

- Schlechter oder fehlender Zugang bei den Schächten zu den Entwässerungsleitungen: Frühere Reinigungskonzepte basierten lediglich auf Spülungen. Der Einsatz von Robotern zur Inspektion (Kamera-TV) oder Reinigung bzw. Auffräsen harter Ablagerungen kann wegen fehlender Nischen oder Leitungsführung mit Knicken erschwert oder verunmöglicht sein.

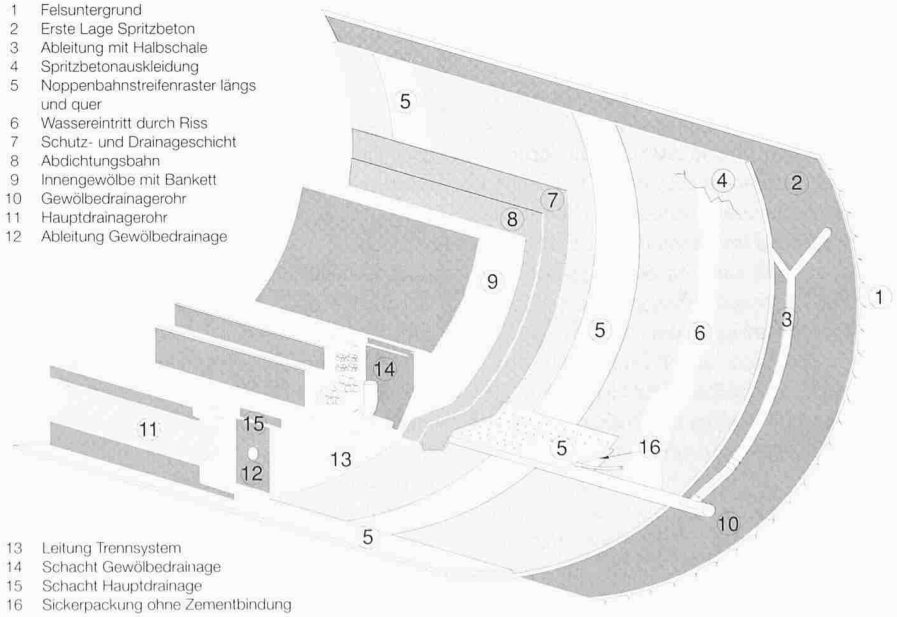
- Zementgebundene Sickerpackungen rund um das Drainagerohr: Diese verstärken die Versinterungstendenz in der Sickerpackung massgeblich und gelten als Hauptursache dafür, dass die Eintrittsöffnungen der Gewölbedrainagen und die Sickerpackung selbst verstopfen und sich ein Bergwasserdruck aufbauen kann.

- Drainagerohre mit ungenügender Wassereintrittsfläche: Gebräuchlich sind gelochte oder seltener geschlitzte Rohre (Lochdurchmesser 1 cm bzw. Schlitzbreiten von lediglich 0,8 bis 2,2 mm). Die Wassereintrittsfläche dieser Rohre beträgt rund 20 bis 25 cm^2 pro Laufmeter. Es ist damit zu rechnen, dass etwa die Hälfte dieser Löcher durch Körner oder gar Zementleim der Sickerpackung verschlossen ist, wodurch die verbleibende Einlauffläche eine ungenügende Sicherheit für drucklosen Einlauf bietet. Ein Zusintern der unterdimensionierten Einlaufflächen bewirkt ein rasches Versintern der Sickerpackung. Die geringen Bergwassermengen müssen nun seitlich in noch nicht versinterte Bereiche ausweichen. Es kommt allmählich zu lokalem Wasserdruckaufbau unter der Sohle und hinter der Gewölbeauskleidung [4]. Demgegenüber eignen sich Drainagerohre mit einer Einlauffläche von mindestens 100 cm^2 pro Laufmeter (breite Schlitze bzw. Lochung mit ø = 15 mm).

- Zu geringe Ableitkapazität der Abdichtungsunterlage: Vliese weisen im eingebauten Zustand in Richtung des Drainagerohrs eine deutlich geringere Ableitkapazität (Transmissivität) auf als beispielsweise druckresistente Wirrfasermatten, Noppenbahnen oder Kunstoffgitter, bei denen die Drainagekapazität bei Zusetzen durch Feinstteile oder Versinterungen wesentlich langsamer abnimmt. Zudem steht mehr Versinterungshohlraum zur Verfügung. Fällt z.B. eine im Spritzbeton befindliche Ableitung wegen Verstopfung durch mitgeschwemmte Bestandteile aus dem Fels oder Versinterungen aus, muss die Abdichtungsunterlage lokal unter Umständen plötzlich ein Vielfaches der bis anhin angefallenen Wassermenge ableiten können.

- Nichtbeachtung der Kompression des Abdichtungssystems beim Betoniervorgang der Innenauskleidung: Durch den Betonierdruck wird die Abdichtungsunterlage zusammengepresst. Erschwerend wirken hohe Felstemperaturen bzw. die Hydratationswärme. Ausgerechnet im Bereich des Gewölbedrainagerohrs wird die Abdichtungsunterlage am stärksten komprimiert, wo der Wasseranfall und die Auswirkung durch Versintern am grössten sind. Das Verhältnis Wasseranfall zu Wasserableit-

6
Darstellung der aufgeschälten Tunnelwand einer Einspurröhre



kapazität ist somit bei einheitlicher Stärke der Abdichtungsunterlage vom Gewölbefirst bis zum Ort der Drainageleitung im Gewölbefuss gerade entgegengesetzt!

▪

Rückstände und unsaubere Rohrstösse fördern die Bildung neuer Versinterungen: Bei einer Reinigung des Drainagesystems bleiben versehentlich Versinterungsbrocken innerhalb der Gewölbedrainageleitung liegen. An diesen Strömungshindernissen bilden sich neue Versinterungsschwellen, die binnen kurzer Zeit zum Vollverschluss der Leitung führen können.

Vorgesehene Massnahmen am Beispiel des Gotthard-Basistunnels

Die Bauherren der beiden Basistunnel am Lötschberg und Gotthard erkannten den Handlungsbedarf für eine dauerhafte Gebrauchstauglichkeit der Tunnel-Entwässerungssysteme. Eine Überprüfung der Lösungen der Projektingenieure erfolgte durch externe Experten und Arbeitsgruppen. Für den Gotthard-Basistunnel sind folgende Massnahmen zur Gewährleistung der dauerhaften drucklosen Bergwasserableitung vorgesehen (Bild 6):

▪

Fassung von Feucht- und Tropfstellen mit stabilen Halbschalen mit grossem Querschnitt, die direkt mit Spritzbeton eingespritzt werden können.

▪

Aus arbeitshygienischen Gründen sind alkalifreie Spritzbetonbeschleuniger vorgesehen. Dadurch wird auch die Auslaugungsneigung des Spritzbetons reduziert.

▪

Von der Abdichtungsunterlage wird erhöhte Drainageleistung auch unter den erschwerten Bedingungen wie hoher Druck und Temperaturen während Jahrzehnten gefordert.

▪

Zusätzliche Noppenbahnstreifen in Längs- und Querrichtung stellen Wasserwege sicher, auch wenn die Abdichtungsunterlage infolge Kompression durch Gebirgsauflasten oder Verstopfung und/oder Versinterung an Drainageleistung einbüssen. Die über dem Gewölbedrainagerohr liegenden Noppenbahnlängsstreifen erhöhen den Hohlraumanteil der Abdichtungsunterlage bei den Rohr-Einlauföffnungen massgeblich. Zusätzlicher Hohlraum hinter der Innenauskleidung kann auch mit vertikalen Aussparungen in der Spritzbetonauskleidung erreicht werden.

▪

Noppenbahnstreifen unter der Ortbetonsohle in Längs- und Querrichtung leiten Wasservorkommen im Sohlbereich bis auf die Höhe der Gewölbedrainage und verhindern damit einen Wasserdruckaufbau.

▪

Gewölbedrainagerohre des Durchmessers 200 mm aus HDPE. Die Einlaufflächen sind als 10 mm breite Einlaufschlitze ausgebildet. So stehen je Laufmeter 150 cm^2 Einlauffläche zur Verfügung (wie Deponierohre). Dies stellt auch in Zonen mit verstärkter Versinterungsneigung eine grosszügige Reserve dar.

▪

In versinterungsgefährdeten Zonen wird flüssiger Härtestabilisator in wasserführende Gewölbedrainagen zugegeben. Dazu genügen einzelne fest installierte Dosierstationen. Dieses inzwischen bewährte Verfahren verhindert die Bildung harter Kalkablagerungen innerhalb der Gewölbedrainagen. Die Intervalle der Reinigungsarbeiten können deutlich vergrössert werden. Der Platzbedarf einer Härtestabilisationsanlage, bestehend aus Pumpe und Vorratstank mit Auffangwanne, beträgt etwa 2 m^2, sie kann in jeder beliebigen Querverbindung installiert werden. Das Härtestabilisationsmittel kann von dort aus den Gewölbedrainagen zugeführt werden.

▪

Sickerpackung aus aufbereitetem, gerundetem und gewaschenem Ausbruchmaterial, Korngrösse 16 bis 22 mm ohne Zementzusatz. Der grosse Hohlraumanteil bietet Gewähr für dauerhaften drucklosen Wasserabfluss. Angesammelte Feinstbestandteile in der Sickerpackung können bei der Hochdruckspülung des Rohrs ausgeschwemmt werden [15].

▪

Auf die Sickerpackung werden Härtestabilisationstabletten gestreut. Diese verhindern die Versinterungsbildung des Bergwassers, das intensiv mit Spritzbeton Kontakt hatte, innerhalb der Sickerpackung. Die Versinterungsneigung ist gerade in den ersten Jahren nach Auftrag des Spritzbetons stärker und nimmt in den folgenden Jahren tendenziell ab. Dadurch kann die Funktionstüchtigkeit der Sickerpackung und der Sickerschlitze langfristig gewährleistet werden.

▪

In Zonen mit Zutritt von natürlich kalkübersättigtem Bergwasser ist die Versinterungstendenz über die Zeit konstant. Hier wird auf der Sickerpackung zusätzlich zu den Härtestabilisationstabletten ein gelochtes Leerrohr mit eingelegten Dosierschläuchen verlegt. Somit besteht auch nach Jahren die Möglichkeit, bei Bedarf in diesem unzugänglichen Bereich mit flüssigem Härtestabilisator zu intervenieren und die Sickerpackungen vor einem kompletten Zusintern zu bewahren. Um solche Zonen zu identifizieren, wird vortriebsbegleitend das Versinterungspotential des Bergwassers mit dem Stabilitätsindex bestimmt.

Literatur

[1] Gesellschaft für Ingenieurbaukunst: Historische Alpendurchstiche in der Schweiz. Zürich, Stäubli Verlag, 1996

[2] Grundwasserschutz bei Tunnelbauten, Grundlagenbericht. Schriftenreihe Umwelt Nr. 231, Buwal, Bern 10/1994

[3] *Chabot J. D., Wegmüller M. C.*: Einflüsse des Bergwassers auf die Dauerhaftigkeit von Untertagebauwerken. Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH Zürich, Sept. 1997

[4] *Kirschke D.*: Dränung in bergmännisch aufgefahrenen Tunneln. IBK Tunnelbau BmK Nr. 3/95

[5] *Kirschke D.*: Neue Tendenzen bei der Dränage und Abdichtung bergmännisch aufgefahrener Tunnel. Bautechnik Nr. 74, Heft 1, 1997

[6] *Reik G.*: Der Tunnel als Drainagerohr, wechselseitige Beeinflussung von Tunnel und Gebirge. Technische Universität Clausthal, Fachveranstaltung Abdichtungen im Tunnelbau vom 18.11.98 im VSH Sargans

[7] *Kirschke D.*: Der undränierte Tunnel als Beitrag zum Umweltschutz. Bauingenieur, Heft 12, 1998

[8] *Flury S., Rehbock-Sander M.*: Gotthard-Basistunnel: Stand der Planung- und Bauarbeiten. Tunnel, Ausgabe 4/98

[9] *Löw S.*: Einflüsse der Hydrogeologie auf den Tunnelbau. Ingenieurgeologie ETH Zürich, Fachveranstaltung Abdichtungen im Tunnelbau vom 18.11.1998 im VSH Sargans

[10] *Wegmüller M. C.*: Versinterung als Abdichtung? Fachveranstaltung Abdichtungen im Tunnelbau vom 18.11.98 im VSH Sargans

[11] *Galli M.*: Härtestabilisierung in kalkführenden Entwässerungen. Schweizer Ingenieur und Architekt, 12/2000, S. 249ff.

[12] *Naumann J., Schockermöhle B.*: Abdichtungs- und Entwässerungskonzepte bei Tunnelbauten, Tunneltechnologien für die Zukunftsaufgaben in Europa. Balkema Rotterdam, März 1999

[13] *Thaller T.*: Unterhalt von Drainage- und Entwässerungssystemen in bestehenden Tunnelbauwerken. Fachveranstaltung Abdichtungen im Tunnelbau vom 18.11.98 im VSH Sargans

[14] *Zwicky P.*: Abdichtungen für Tagbautunnels. Ingenieurbüro für Abdichtungstechnik Sarnen, März 1992

[15] *Maidl B.*: Untersuchungen zur Bestimmung des Versinterungsverhaltens verschiedener Dränageelemente. Bochum 1999

- 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.