

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 114 (1996)
Heft: 29

Artikel: Tunnelwasser und Chemie
Autor: Wetzig, Volker
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-79009>

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: 15.01.2026

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

Volker Wetzig, Sargans

Tunnelwasser und Chemie

Bei der Erstellung eines Tunnelbauwerkes kommt es zu Berührungen mit dem natürlichen Wasserkreislauf im betroffenen Gebiet. Da es sich bei Wasser aber im chemischen Sinne nicht um einen inerten Stoff handelt, wird das anstehende Bergwasser immer auch in chemische Wechselwirkungen mit den Bauwerksbestandteilen treten. Gegenüber oberflächennahen Wässern, die im allgemeinen Bauwesen angetroffen werden, handelt es sich beim Bergwasser, insbesondere bei tiefliegenden Tunnels, oft um stark mineralisierte Wässer, die aus diesem Grund auch andere chemische Reaktionen verursachen als Oberflächenwässer.

Am Vereintunnel wurde die Zusammensetzung des Bergwassers aller Zutritsstellen von Beginn an analysiert, um auch bauwerksseitig die entsprechenden Schutzmassnahmen ergreifen zu können. Die zur Ableitung des anfallenden Bergwassers notwendigen Installationen beschränken sich damit im wesentlichen auf die Beachtung einer dem Wasser angepassten Betonrezeptur.

Der Wasserkreislauf

Im Wasserkreislauf nimmt die atmosphärische Luft bis zu einem gewissen Grad Wasserdampf auf, der zum grössten Teil (87,5%) aus verdunstendem Wasser aus den Ozeanen stammt. Die erwärmte Luft steigt unter Mitnahme des Wasserdampfes auf; durch Winde wird der Wasserdampf horizontal transportiert. Kühlt sich die Luft z.B. durch Aufsteigen an der Luvseite von Gebirgen ab, kondensiert der Wasserdampf und fällt als Niederschlag in Form von Regen, Schnee oder Hagel zur Erde. Das Niederschlagswasser fliesst entweder oberirdisch in Bächen und Flüssen ins Meer oder versickert im Boden und fliesst unterirdisch ab, bis es aus Quellen wieder zu Tage tritt und Wasserläufe speist. Die Verweildauer des Wassers im Untergrund beträgt zwischen wenigen Stunden und Jahrzehnten, mitunter auch länger.

Das Niederschlagswasser, das abgesehen von minimalen Verunreinigungen, die in der Atmosphäre aufgenommen werden,

aus reinem Wasser besteht, nimmt auf dem Weg durch das Gebirge, je nach geologischen und chemisch-physikalischen Randbedingungen verschiedene Mengen von löslichen Stoffen, insbesondere Salze, aber auch Gase und Wärme (Thermalquellen) auf. Dabei beeinflussen die folgenden Faktoren den Gehalt an gelösten Stoffen im Wasser:

- **Konzentrationsgefälle:** Mit zunehmender Konzentration eines Salzes im Wasser sinkt dessen Lösungsgeschwindigkeit. Die Lösungsgeschwindigkeit und Lösungsmenge von noch nicht im Wasser gelösten Stoffen werden aber nicht beeinflusst. Mit nur einem Salz gesättigtes Wasser verhält sich gegenüber anderen Salzen wie ungesättigtes Wasser.

- **Temperatur und Druckverhältnisse:** Die Löslichkeit insbesondere von Gasen, aber auch Salzen, ist temperatur- und druckabhängig. Kesselsteinbildung ist auf die mit steigender Temperatur sinkende Löslichkeit von Calciumbicarbonat zurückzuführen.

- **pH-Wert:** Abhängig vom pH-Wert werden bestimmte Stoffe (z.B. Kalke im sauren Wasser) besser gelöst. Der pH-Wert des Wassers kann sich im weiteren Fliessweg durch die Aufnahme oder Abgabe von Stoffen verändern, so dass zunächst lösliche Stoffe wieder ausgefällt werden. Infol-

ge Druckverminderung sinkt die Löslichkeit von Kohlensäure, die blasenförmig aus dem Wasser ausscheidet. Der sinkende Kohlensäuregehalt wiederum bewirkt eine pH-Wert-Verschiebung, die sich in Form von Kalkausfällungen (Sinterbildung) bemerkbar machen kann.

- **Kontaktzeit zum löslichen Stoff:** Je länger das Wasser mit einem zu lösenden Stoff in Kontakt steht, je langsamer es also fliesst, um so grösser wird die gelöste Menge sein.

Wechselwirkung zwischen Bergwasser und Bauwerk

Im Laufe der Zeit hat sich im Gebirge ein dynamisches Gleichgewicht der Wasserflüsse und ihrer Salzfrachten eingestellt, das der Tunnelbau in folgenden Punkten verändert:

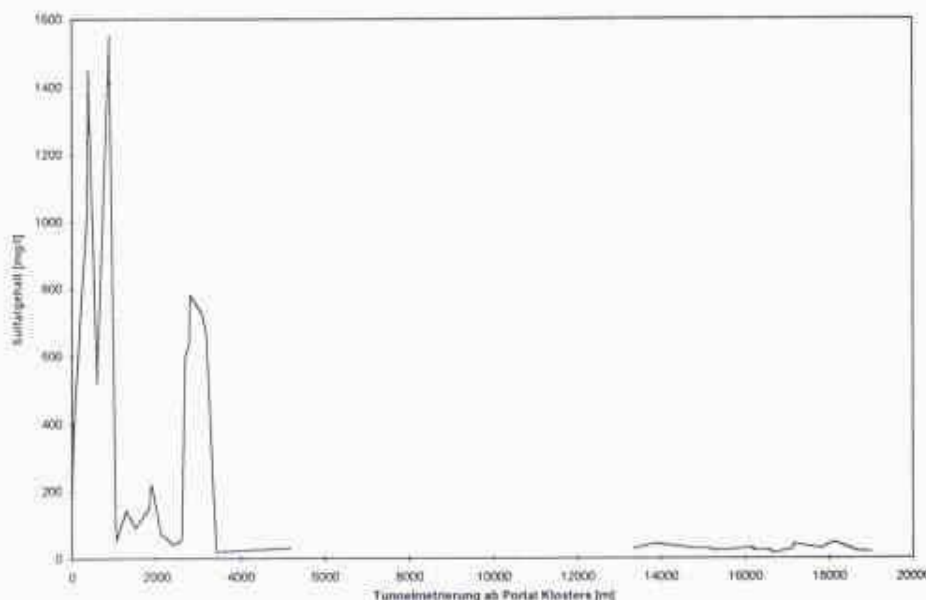
- Schaffung neuer Fliesswege
- Abkühlung des Gebirges
- Druckentlastung des Wassers
- Schaffung neuer Lösungspotentiale durch Einbau des Betons

Diese Veränderungen wiederum bewirken die nachstehenden Folgen für das Bergwasser:

- **Schäden durch lösenden Angriff:** Weiche Wässer, d.h. Wasser mit sehr geringen Härtegraden (Ca- und Mg-Carbonaten), weist ein hohes Konzentrationsgefälle zu den löslichen Bestandteilen im Beton auf, die auf diese Weise kontinuierlich ausge tragen werden.

- **Schäden durch treibende Wirkung:** Bei mit Sulfaten und/oder Natriumsulfaten be-

1
Sulfatgehalt des Bergwassers im Vereintunnel



ladenen Wässern führt die Mineralneubildung mit löslichen Bestandteilen des Zementsteins oder das Auskristallisieren von Salzen zum Aufsprengen des Betons.

Versinterung: Hohe Calcium- und/oder Magnesiumcarbonatfrachten des Wassers, die sich beim Kontakt des Bergwassers mit dem Beton unter Umständen noch weiter erhöht haben, führen mit fortschreitender Ausgasung der Kohlensäure aus dem Wasser zu Sinterbildung in den Fließwegen des Wassers.

Korrosion: Stark chloridbefruchtete Wässer fördern die Armierungskorrosion mit den allgemein bekannten Folgen.

Ausgasungen: Methan, Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff sind die wichtigsten im Bergwasser löslichen Gase. Infolge der hohen Ventilationsraten im Tunnel stellen diese im Bergwasser allfällig gelösten Gase in der Regel keine Gefährdung für den Bau dar. Methan und Kohlendioxid werden für den Tunnelbau dann zu Gefahrenquellen, wenn sie in porösen Gesteinen gespeichert sind.

Bergwasser am Vereinatunnel

Die Zusammensetzung aller angetroffenen Wässer am Vereinatunnel wird routinemässig untersucht. Damit ist sichergestellt, dass allfällige Massnahmen zur Vermeidung von Schäden durch das Bergwasser unverzüglich eingeleitet werden können. Für die Interpretation der Resultate ist die Grössenordnung und Tendenz der Messwerte entscheidend, da sich der Einzelwert durch verschiedene Einflüsse in einem gewissen Streubereich ändern kann.

Die gemessenen Sulfatgehalte zeigen beispielhaft eine deutliche Abhängigkeit von den durchfahrenen Gebirgsformationen (1). In den beiden Bauweisen des Nordabschnitts T2 und T4b, die durch Sedi-mentdecken (Aroser Schuppenzone, Schaflägerzug) fahren, sind in den Wässern je nach Schichtpaketen deutlich unterschiedliche Sulfatgehalte zu finden. Das bedeutet aber auch, dass die in den einzelnen Bereichen anstehenden Bergwässer nicht miteinander in Verbindung stehen.

Mit Erreichen der Gesteine der Silvretta-Decke sinkt der Sulfatgehalt der

Wässer auf Werte in der Grössenordnung, die im Südlos der Vereinaabstelle seit Beginn der Vortriebsarbeiten gemessen wurden. Bei der weiteren Bestimmung der Ionen zeigt sich, dass der Grossteil der Sulfate an das Natrium gebunden sind. Der Calcium- und Magnesiumgehalt sowie der Chloridgehalt des Wassers sind gering. Die Karbonathärte des Wassers schwankt im unteren Bereich bis 3.5 °dH, der als sehr weiches bis weiches Wasser klassifiziert wird. Die Gefahr von Sinterbildung besteht daher praktisch nicht.

Die Chlorid-Gehalte sind mit maximal 10 mg/l als sehr gering, und daher als nicht aggressiv, einzustufen. Im Südbau-los wurde in einem Bereich von rund 600 m Länge ein erhöhter Gehalt an Sulfid im Wasser nachgewiesen. Methangas wurde bisher nicht angetroffen.

Adresse des Autors:

Völker Wetzig, Dipl.-Ing. (TU), VersuchsStollen Hagerbach AG, Rheinstrasse 4, 7320 Sargans

Kurt Egger, Peter Breitenmoser und Felix Wälschli, Chur

Vermessung und Absteckung

Der Vermessung stellt sich die Aufgabe, die beiden Vortriebe von Klosters Selfranga und von Lavin so zu steuern, dass sie sich beim Durchschlagspunkt innerhalb festgelegter Fehlergrenzen treffen. Die Vermessung schafft die Grundlagen, welche die Angriffspunkte in Lage und Höhe zueinander in Verbindung bringt und ist für die projektgenaue Absteckung der Stollenachsen verantwortlich.

Dank der Entwicklung neuer Messtechniken in den letzten Jahren, wie elektro-optischer Distanzmessung, Azimutbestimmung mit Kreisel, Lagebestimmung mittels Satellitengeodäsie oder Global Positioning System (GPS) sowie dem Geoidmodell Gurtner können die stark gestiegenen Anforderungen an die Absteckungsgenauigkeiten langer Tunnelbauten erheblich gesteigert werden. Zum Zeitpunkt der Ausschreibung der Vermessungsarbeiten Anfang 1987 war jedoch die

Satellitengeodäsie noch nicht so zuverlässig und genau wie heute, dass man sich ohne anderweitige Absicherung voll hätte darauf verlassen können. Dazu kamen Probleme mit der kleinen Zahl der zur Verfügung stehenden Satelliten sowie bei der Transformation von GPS-Koordinaten in das für unsere Zwecke verwendete Landeskoordinatensystem. Die damals gewählte Lösung entsprach dem Stand der Technik und ist heute durch die inzwischen entwickelten Instrumente und Methoden teilweise überholt.

Grundlagenvermessung

Die vorhandene Landestriangulation (LV03) genügt den Anforderungen für die Absteckung eines langen Tunnels nicht, eine genaue Grundlagenvermessung ist für die Steuerung der Vortriebe jedoch unerlässlich. Die Lage und Höhe der Portalpunkte und die Orientierung im Bereich der Portale muss zwangsfrei, zuverlässig und in einem homogenen Bezugssystem

vorhanden sein. Die für die Absteckung des Vereinatunnels verwendete Grundlagenvermessung geht aus (1) hervor.

Netzplan

Die vorgeschlagene Grundlagenvermessung besteht aus Triangulation/Polygonzug, Nivellement und GPS-Messungen, und zwar aus:

- Portalnetz Klosters
- Polygonzug zwischen dem Netz Klosters und dem Netz Unterengadin
- Portalnetz Nusch im Unterengadin

Die Portalnetze sind so konzipiert, dass die Lotabweichungen weitgehend kompensiert werden. Die GPS-Messungen erfolgten auf je drei Stationen im Teilnetz Klosters und im Teilnetz Unterengadin sowie auf dem Punkt Schwarzkopf. Die Portalnetze wurden an das Landesnivellement angeschlossen.

Versicherung und Signalisierung

Zehn Punkte der Grundlagenvermessung sind mit bestehenden Punkten der Landesvermessung identisch. Die Neu-