

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 90 (1998)
Heft: 9-10

Artikel: Einfluss des Bergwassers auf die Dauerhaftigkeit von untertägigen Bauwerken
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-939407>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.02.2025

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

Einfluss des Bergwassers auf die Dauerhaftigkeit von untertägigen Bauwerken

Neue Forschungsergebnisse

Die Schäden an Untertagebauten in der Schweiz sind grossenteils auf die Einwirkung des Bergwassers zurückzuführen. Es ist nicht einfach, die hydrologischen Verhältnisse zu erfassen, weil meist verschiedene Bergwasserarten über kurze Strecken gleichzeitig auftreten, die die Baustoffe unterschiedlich beeinflussen. So bewirkt der jahrzehntelange Feuchtigkeitsstrom durch ein Bauteil und die einseitige Verdunstung des Bergwassers auf der Innenseite eine Anreicherung von Mineralsalzen im Beton, die zu einer Schädigung der Baustoffe der Tunnel- und Stollenauskleidung und anderer Bauwerke führen können. Hohe Temperaturen und Luftströmungen beschleunigen die unumkehrbare Schädigung.

Anfang 1991 entdeckte man beim Bau des 3,7 km langen *Bözbergtunnels* (N3) ungewöhnliche Ablagerungen an der 40 cm dicken Tübbingauskleidung der westlichen Tunnel-

röhre (11,93 m Bohrkopfdurchmesser), die durch aggressives *Tiefengrundwasser* mit hohem Chlorid- und Sulfatgehalt verursacht worden sind [1]. Um ein dauerhaftes Bauwerk zu erhalten, musste man die Tunnelkonstruktion ändern und

- das tragende Element (Aussenschale aus Tübbingringen) nach innen (Innenschale aus Ortbeton) verlegen und
- die Innenschale rundum durch eine Folienabdichtung vor dem Kontakt mit dem aggressiven Bergwasser schützen.

Zum Einbau der Abdichtung in der bereits aufgefahrenen Weströhre mussten an den Sohlübbings die Widerlager für die Fahrbahnplatte entfernt werden. Ausserdem waren die Tübbing-Schalungen für die in der Oströhre nur noch 29 cm dicken Tübbings zu ändern. Die nach dem Einbau der Abdichtung betonierte Innenschale ist 41 cm dick. Durch diese Projektanpassung entstanden über 30 Millionen Franken Mehrkosten; auch konnte der Tunnel erst später in Betrieb genommen werden.

Die im Rahmen dieses Tunnelbaus durchgeführten umfangreichen Untersuchungen des Bergwassers und andere Schadensfälle an Untertagebauwerken haben das Interesse am Bergwasser geweckt und zu einem umfangreichen Forschungsvorhaben geführt.

Forschungsvorhaben

Im Institut für Bauplanung und Baubetrieb (IBB) der ETH Zürich wurden unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. E. H. *Robert Fechtig* und in Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Materialprüfanstalt (Empa) Dübendorf innerhalb von vier Jahren Untersuchungen durchgeführt, um die «Einflüsse des Bergwassers auf die Dauerhaftigkeit von Bauwerken» [1, 2] zu bestimmen. Dieses Forschungsvorhaben, für das insgesamt rund 1 Million Franken aufgewandt wurden und das von 22 Firmen (Bauzulieferindustrie, AlpTransit Gotthard/SBB und Lötschberg/BLS usw.) und Organisationen (Stiftung Zementforschung/TFB und des Bauwesens/ETH, Elektrizitätswerke-Verband usw.) gefördert worden ist, wurde 1997 abgeschlossen.

Untersuchungen an Bauwerken

Begonnen hat man mit der Untersuchung des Bergwassers bei 15 verschiedenen Bauwerken (Tunnel, Stollen, Becken) (Tabelle 1) mit Bestimmung der Gesamtmineralisation. Bei den Bauwerkuntersuchungen wurden folgende Schäden festgestellt:

- Zersetzung von Teilen der Spritzbetonschale und von anderen Betonbauteilen durch Thaumasyt-Ettringit- und/oder Gipsbildung;
- Zersetzung des Fugenmörtels durch Natriumsalz-Sprengung infolge Verdunstung;
- Korrosion von Metallen durch Salze (Herkunft der Salze: Bergwasser oder Streusalz);
- Versinterung der Entwässerungsleitungen;

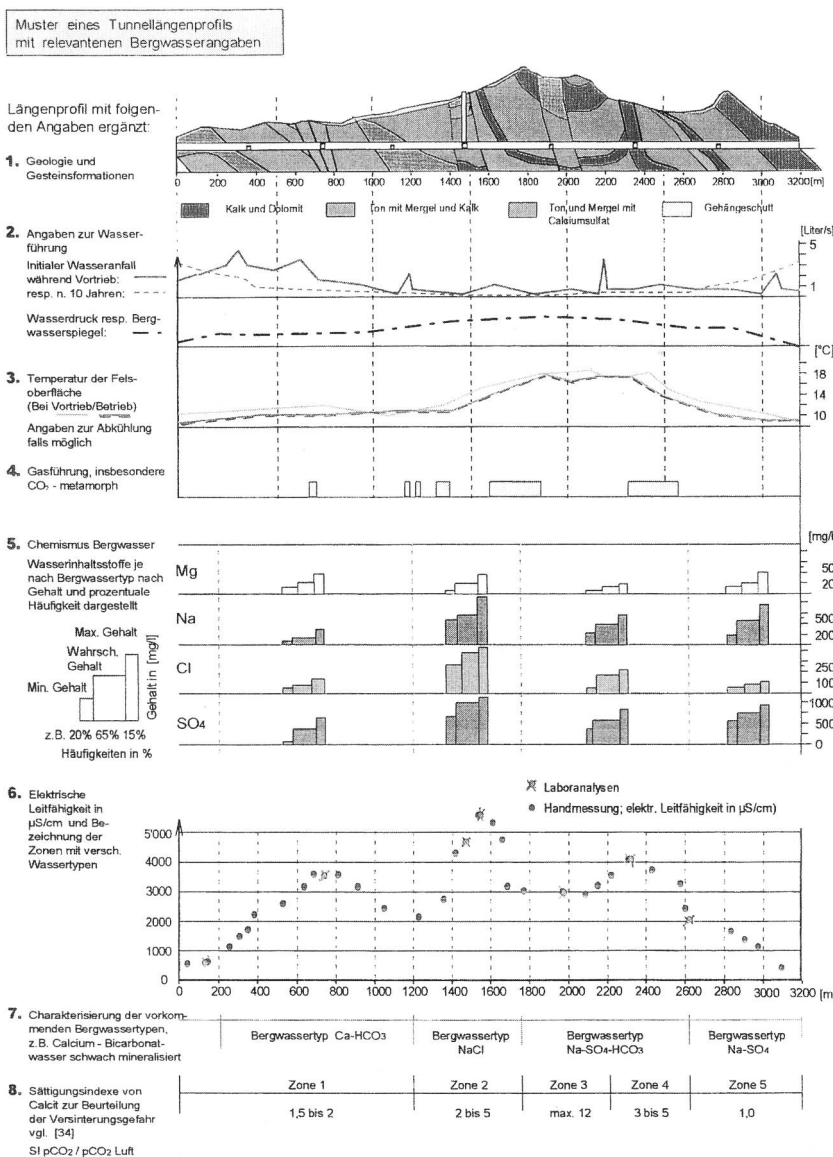


Bild 1. Muster für die Darstellung eines Untertagebauwerks mit erheblichem Anfall von Bergwasser.

Tabelle 1. Tiefengrundwasser bei einigen in der Schweiz untersuchten Tunneln (vgl. Bild 1).

Nr.	Tunnelbauwerke	Bergwasserart	(g/l) ¹
1	Bözbergtunnel N3 ²	NaCl und NaSO ₄	5–10
2	Bözbergtunnel SBB ³	NaCl und NaSO ₄	2–4
3	Alter Hauensteintunnel SBB	NaSO ₄	2–3
4	Belchentunnel N2	NaCl und NaSO ₄ -HCO ₃	5–10
5	Tunnel Leissigen N8	NaSO ₄	2–3
6	Umfahrung Sachseln N8	NaCl, NaHCO ₃	5–10
7	Seelisbergtunnel N2	NaCl, NaHCO ₃ , CaSO ₄	5–10
8	Gotthard-Strassentunnel	NaSO ₄ , teils CO ₂	3–5
9	Lötschbergtunnel BLS ⁴	CaSO ₄ , NaCl	2–3
10	Simplontunnel SBB	NaSO ₄ , HCO ₃ , teils CO ₂	2–5

¹ Gesamtmineralisation

² N3 Nationalstrasse 3

³ SBB Schweizerische Bundesbahnen

⁴ BLS Bern-Lötschberg-Simplon-Bahn

– Quellhebungen durch Gesteinsschichten (nicht durch Korrosionsprodukte).

Nach den Schadensursachen und aufgetretenen Materialschäden steht die Mehrzahl der Schäden bei Untertagebauwerken in unmittelbarem Zusammenhang mit der spezifischen chemischen Zusammensetzung des angrenzenden Bergwassers; sie lassen sich durch geeignete Massnahmen vermeiden.

Laboruntersuchungen

Im Labor wurde die durch Bergwasser verursachte Mineralisanzanreicherung an Betonproben und Zementlösungen mit verschiedenen Bergwässern kurz- und langfristig untersucht. Die Auswertung führte durch Vergleich mit den untersuchten Korrosionsmechanismen an bestehenden Bauwerken zu Vorschlägen für Sanierungs- und Neubauprojekte.

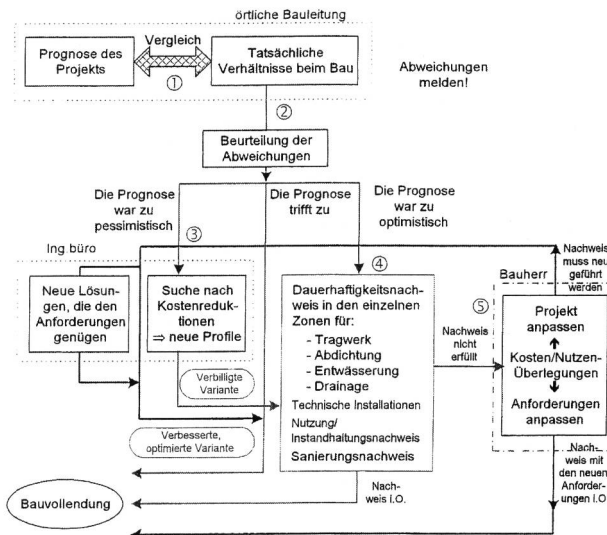


Bild 2. Überwachung der Bauausführung; Erläuterungen:

- (1) Eine der wichtigsten Aufgaben der örtlichen Bauleitung ist die Prüfung der tatsächlich angetroffenen Gegebenheiten und der Vergleich mit den Prognosedaten.
- (2) Die örtliche Bauleitung muss gemeinsam mit dem Projektverfasser entscheiden, ob die Abweichung (1) ausserhalb des Prognoserahmens liegt und Projektanpassungen erfordert.
- (3) Die meist zu pessimistisch angesetzten geologischen Prognosen werden in der Praxis häufig unkritisch beibehalten; Projektanpassungen können hier die Baukosten deutlich verringern.
- (4) Die Prognose war zu optimistisch; deshalb werden neue Nachweise erforderlich.
- (5) Wegen der laufenden Bauarbeiten sind Projektanpassungen nicht immer möglich; deshalb spielen Kosten/Nutzen-Überlegungen eine entscheidende Rolle.

Ausser der Schädigung durch Salze infolge Bergwasser wurden sowohl Planungs- und Unterhaltsfehler bei der Tunnelentwässerung (z. B. Versinterung von Entwässerungsleitungen) und Bauwerksabdichtung berücksichtigt. Dabei untersuchte 30 Jahre alte PVC-Abdichtungen wiesen keinerlei Schädigungen auf.

Schadensursachen

Nach den Bauwerksbegehungen und genannten Untersuchungsergebnissen sind die bestehenden Schäden zu über 80 % auf Planungsfehler und Ausführungsmängel zurückzuführen. Sie verteuern unnötig den Betrieb und den Unterhalt der Untertagebauwerke.

Empfehlungen

Aus den in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit den Fachbereichen Materialtechnologie, Abteilung Betontechnologie und anorganische Chemie der Empa Dübendorf sowie externen Beton- und Analyselabors durchgeführten Untersuchungen wurden als Folgerung Empfehlungen für Neubauten und Sanierungsprojekte erarbeitet. Darin wird gezeigt, wie man eine massgeschneiderte Lösung erarbeitet (Bild 1) und diese Lösung mit Überwachung erfolgreich verwirklicht (Bild 2). Dazu gehören Dauerhaftigkeitsnachweise für das Tragwerk, die Abdichtung und Drainage- und Entwässerungssysteme. Eingegangen wurde auch auf Nutzungs-, Instandhaltungs- und Sanierungsnachweise. Berücksichtigt werden sollte, dass die gefährlichsten Standorte mit dem am stärksten mineralisierten Tiefenwasser (über 2 mg/l) im Raum Basel (Jura) und wegen des Vorkommens von CO₂-Wasser südlich der Linie Gotthard-Arlberg (z. B. im Kanton Graubünden) liegen; der Korrosionsvorgang durch Chlorid und Sulfat wird durch CO₂-Einwirkung noch verstärkt.

Entwicklungstendenzen

Nach Abschluss der Untersuchungen wurden einige Ingenieurbüros, Bauunternehmen und Unterhaltsdienste eingehend zum behandelten Thema befragt und daraus die Entwicklungstendenzen bei der Planung neuer Tunnelanlagen und beim Tunnelbau und beim Unterhalt bestehender Tunnelanlagen erarbeitet. Sie sind in Übersichten dargestellt. So enthält eine Zusammenstellung der bisher bekannten Untersuchungen von Tunnelbaumaterialien die sich abzeichnenden Veränderungen, vor allem höhere Anforderungen an die Dauerhaftigkeit, den Umweltschutz, die Verarbeitbarkeit und durch Normvorschriften.

Da die Untersuchungsergebnisse und Folgerungen daraus technische und wirtschaftliche Anregungen für den entwerfenden, bauausführenden und bauerhaltenden Ingenieur enthalten, soll in Kürze eine Buchveröffentlichung über «Einflüsse des Bergwassers auf die Dauerhaftigkeit von Bauwerken» herauskommen. BG

Literatur

- [1] Einflüsse des Bergwassers auf die Dauerhaftigkeit von Bauwerken. 2. Zwischenbericht, ETH Zürich, Februar 1996 (Bözbergtunnel N3/06, Belchentunnel N2).
- [2] Chabot, J. D.; Wegmüller, M. C.: Einflüsse des Bergwassers auf die Dauerhaftigkeit von Bauwerken. Schlussbericht 1997. Institut für Bauplanung und Baubetrieb (IBB), ETH Zürich, Juli 1997.