Ausserordentlicher Wasseranfall im Teilabschnitt Erstfeld des Gotthard-Basistunnels

Autor(en): **Keller, Franz / Bucher, Stefan**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology**

Band (Jahr): **19 (2014)**

Heft 1

PDF erstellt am: **12.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-583917

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

Swiss Bull. angew. Geol. Vol. 19/1, 2014 S. 73-84

Ausserordentlicher Wasseranfall im Teilabschnitt Erstfeld des Gotthard-Basistunnels

Franz Keller[1], Stefan Bucher[1]

Stichworte: Gotthard-Basistunnel, Hydrogeologie, Bergwasseranfall, Wasser- und Felstemperaturen

Zusammenfassung

Im nördlichsten Teilabschnitt des Gotthard-Basistunnels wurden ausschliesslich die erwarteten altkristallinen Erstfelder Gneise durchörtert. Völlig überraschend überschritt jedoch die Bergwassermenge den prognostizierten Wert um ein Mehrfaches. Sie steigt von vorwiegend 150–250 l/s in der zweiten Hälfte des Monats Mai auf bis zu 465 l/s an. Die Spitzenwerte korrelieren zeitlich mit der Schneeschmelze in grösserer Höhe, sowie der Mächtigkeit der Schneedecke. Das Bergwasser stammt aus nicht ganz 2'000 kleinen Quellen. Sehr stark wasserführend ist eine 1.65 km lange Strecke die 4.27 km nach dem Felsportal beginnt. Sowohl Wasser- wie auch Felstemperaturen sanken in diesem Abschnitt streckenweise um bis zu 8 °C unter den Prognosewert. Ursache der geschilderten Phänomene ist eine Massenbewegung im überliegenden Einzugsgebiet. Sie führt zu einer hohen Durchlässigkeit, einer dem entsprechenden Tiefensickerung und einem grossen Speichervermögen im Bereich des aufgelockerten Gebirges. Die Drainage durch den Tunnel beeinträchtigte für Trinkwasserversorgungen gefasste Oberflächenquellen. Weil aus den südlich anschliessenden Teilabschnitten nur wenig Bergwasser anfällt, genügt die auf 555 l/s dimensionierte Leitung, um das Bergwasser zu bewältigen.

Abstract

The most northern section of the Gotthard Base Tunnel was cut through the Erstfelder Gneis which is part of the variscan cristallin basement. Surprisingly, the tunnel inflow rate of water exceeded the anticipated value a number of times. In the second half of May, the inflow rate increases from prevailing values of 150–250 l/s to a peak value of 465 l/s. The inflows to the tunnel are since following a pronounced yearly hydrograph. The peak values correlate in time with the snowmelt and depend on the thickness of the snow layer. Around 2,000 small springs were documented during tunnel mining. The most intense water-bearing section with length of 1.65 km is situated at a distance of about 4 km from the start of the underground mining. Within this section, both water and rock temperatures decreased in parts by 8 °C below the anticipated value. The described phenomena is caused by a mass movement in the catchment area above this section. This leads to a high permeability and therefore a high infiltration rate as well as to a large storage capacity in the loosened bedrock. The drainage caused by the tunnel affected surface springs used to capture drinking water. The main drainage pipe is dimensioned for a water amount of 555 l/s which is adequate due to a small inflow rate in the southern sections of the tunnel.

[1] BTG Büro für Technische Geologie AG, Grossfeldstrasse 74, 7320 Sargans [franz.keller@btgeo.ch]

1 Einleitung

Der Teilabschnitt Erstfeld ist der nördlichste Teilabschnitt des doppelröhrigen Gotthard-Basistunnels. Der 7.17 km lange Felsvortrieb mit Tunnelbohrmaschinen wurde in weniger als zwei Jahren abgeschlossen. Der Durchschlag zum Teilabschnitt Amsteg erfolgte in der Oströhre am 16.6.2009, jener in der Weströhre am 16.9.2009.

Der Bergwasseranfall war aus zwei Gründen ausserordentlich. Erstens wegen der Wassermenge, die Spitzenwerte von rund 465 l/s erreichte, zweitens wegen der Jahresganglinie. Beides ist für einen tief liegenden Tunnel im zentralen Aar-Massiv ungewöhnlich. So fliessen zum Beispiel aus dem südlich anschliessenden Teilabschnitt Amsteg auf 11.36 km relativ konstant lediglich 21 l/s, d.h. etwas weniger als 2 l/s·km. Beim Gotthard Strassentunnel wurden bei Göschenen rund 40 l/s gemessen (mündliche Mitteilung Unterhaltsdienst), d. h. rund 6 l/s pro km. Die erwähnte Jahresganglinie entspricht am ehesten jener eines Tunnels in einem Karstgebiet.

Ein erstes Mal über den Bergwasseranfall in Erstfeld und seine Folgen berichtet wurde am Swiss Tunnel Congress 2009 in Luzern (Keller & Ziegler 2009), zu einem Zeitpunkt, als der Vortrieb noch im Gange war.

Der vorliegende Text basiert auf dem geologischen Schlussbericht des Teilabschnittes Erstfeld (BTG 2011), dem Textpassagen und ein Teil der leicht modifizierten Textfiguren entnommen wurden. Damit die örtliche Zuweisung eindeutig ist, wurde für die Oströhre eine hunderter und für die Weströhre eine zweihunderter Kilometrierung festgelegt.

Im Folgenden wird nach einer kurzen geologischen Übersicht auf den beobachteten und künftigen Wasseranfall, die durchgeführten Untersuchungen, die Auswirkungen auf genutzte Oberflächenquellen, die Fels- und Wassertemperaturen sowie die mutmassliche Ursache der Jahresganglinien eingegangen.

2 Geologische Übersicht

Im bergmännischen Vortrieb des Teilabschnittes Erstfeld wurden ausschliesslich Erstfelder Gneise durchörtert. Sie bilden im Urner Reusstal die nördlichste geologische Einheit des Aar-Massivs. Es handelt sich um altkristalline migmatitische Gneise. Petrographisch herrschen lagig-flasrige und schlierige, klein- bis mittelkörnige, muskovitführende Biotit-Alkalifeldspat-Plagioklasgneise vor. Das Spektrum reicht bis zu nebulitischen granitähnlichen Gesteinen (Diatexite) und kleinkörnigen Migmatit- oder Aplitgraniten. Daneben kommen auch homogene, glimmerarme Gneise vor.

Von der alpinen Gebirgsbildung und Regionalmetamorphose sind die Erstfelder Gneise wenig beeinflusst. Die dominierende präalpine Schieferung fällt steil mit 70–80° gegen SE bis SSE ein, wobei zwischen km 104.8 und 105.5 eine auffällige steilachsige Schlingenstruktur vorhanden ist. Oft ist auch eine Kleinfältelung zu beobachten. Steil südfallende alpine Schieferungsflächen treten erst auf den letzten 1'500 m vor der südlichen Losgrenze auf. Das Gestein ist meist mässig bis gering geklüftet, wobei die Kluftflächen lagemässig stark streuen. Bei km 104 (Fig. 7) wurde auf 235 m Länge die Öfitalstörung durchfahren.

Bezüglich der regionalen Geologie verweisen wir auf das Buch «Geologie des Kantons Uri» (Naturforschende Gesellschaft Uri 2012). Aktuelle Angaben zum Projekt des Gotthard-Basistunnels finden sich auf der Homepage der AlpTransit Gotthard AG (www.alptransit.ch).

3 Bergwasseranfall

3.1 Während des Vortriebs

Die Wasserführung wurde jeweils im noch nicht mit Spritzbeton verkleideten Vortriebsbereich L1, d. h. innerhalb von 1–3 Tagen nach dem Anfahren des Zuflusses erfasst.

Bis zur Öfitalstörung blieb die Wasserführung im erwarteten Rahmen. Sie blieb gering mit Ausnahme eines Wassereinbruchs aus einer Störung bei km 102.772. Die Schüttmenge von initial ungefähr 150 l/s ging innerhalb von drei Tagen auf zirka 4 l/s zurück. Bei einer weiteren kakiritischen Störung (km 102.874) ergossen sich initial aus einem Dutzend Quellen rund 7–8 l/s.
Die Öfitalstörung mit ihren verlehmten Kakiriten führte nur wenig Wasser in Form von kleinen Quellen, Tropf und Nässe.
Nach dem Durchfahren der Öfitalstörung änderte sich die Situation bezüglich der Wasserführung, indem diese stark anstieg. Massiv war die Zunahme insbesondere in der Weströhre zwischen km 205.875 und 206.215, einer Strecke welche von Mitte Mai bis Mitte Juni 2009 durchfahren wurde. In diesem Zeitraum wurde auch im rückwärtigen Bereich eine Zunahme sowohl der Anzahl der Wassereintritte wie auch der Schüttmengen festgestellt. Bei einzelnen Austritten stieg die Schüttmenge auf mehr als das Zehnfache des ursprünglichen Wertes an. Am stärksten war der Wasserandrang im Bereich des Querschlages 16 (Fig. 1). Der hohe Wasserandrang stand offensichtlich in einem Zusammenhang mit der Schneeschmelze.
Bei km 206.250 endete die stark wasserführende Strecke. Anschliessend waren nur noch wenige Bergwasserzutritte zu verzeichnen.
Während zu Beginn des Vortriebs die vorauseilende Oströhre stärker wasserführend war als die Weströhre, änderte sich dieses Verhältnis mit der Schneeschmelze im Mai 2009. Aus der talseitigen Weströhre fliesst seither deutlich mehr Wasser als aus der bergseitigen Oströhre. Mit der Zeit stellte sich ein Verhältnis von ungefähr 2:1 ein.
Bis zum Erreichen der Losgrenze wurden bei den geologischen Aufnahmen im Vortriebsbereich in der Oströhre rund 1'030, in der Weströhre rund 915 grösstenteils kleine Quellen erfasst (ca. 90% mit < 0.1 l/s). In der Oströhre wiesen 37, in der Weströhre 42 Quellen initiale Schüttmengen ≥ 1 l/s auf.
Der hohe Wasserandrang beeinträchtigte die Bauarbeiten und führte zu Projektanpassungen und Massnahmen im Bereich der Drainagen sowie bezüglich der Wasserbehandlung und -ableitung.

3.2 Nach Abschluss des Vortriebs

Fig. 2 zeigt eindrücklich, dass der Bergwasseranfall im Normalfall eine ausgeprägte Jah-

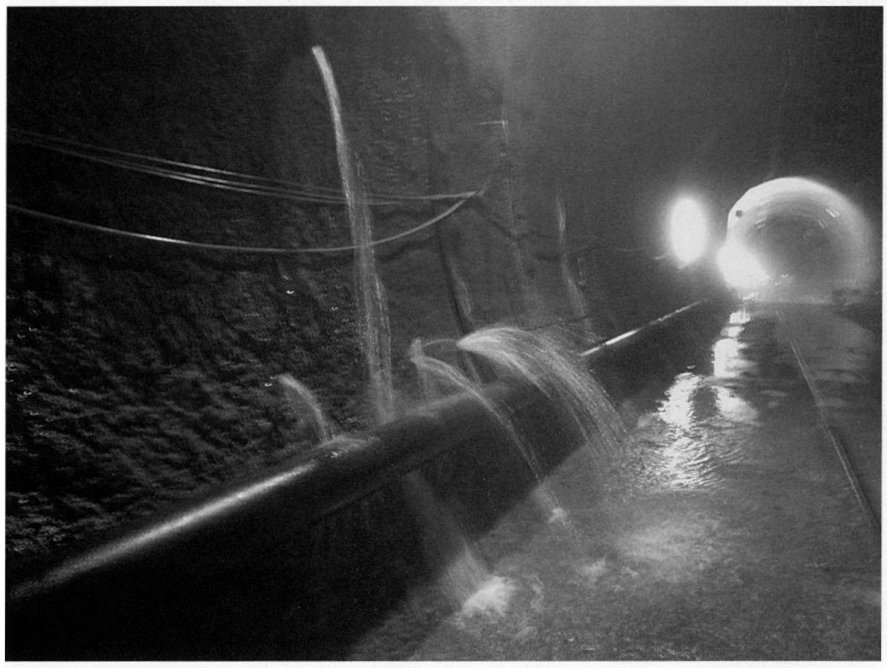

Fig. 1: Ergiebige Bergwasserzutritte in der Weströhre im Bereich des Querschlages 16 während der Schneeschmelze. Bild vom 21.6.2010 bei km 204.735, Blick Richtung Süden.

resganglinie bildet. Nach dem steilen Anstieg ab Mitte Mai wird Mitte Juni bis Anfang Juli ein Spitzenwert erreicht. Der anschliessende Rückgang hat teilweise die Form einer für die Entleerung eines Speichers typischen Trockenwetterfalllinie. Kurzzeitige Starkniederschläge beeinflussen die Zuflüsse zum Tunnel nur unwesentlich. Dagegen führen über mehrere Wochen anhaltende Niederschlagsperioden zu einem Anstieg der Bergwassermenge. Dieser betrug beispielsweise im Sommer 2010 nach 25 Regentagen 90 l/s.

Im Jahr 2010 wurde der Bereich des Querschlages 16 speziell überwacht. Bei einzelnen Austritten nahmen die Schüttmengen während der Schneeschmelze um einen Faktor 10 bis 70 zu. Zahlreiche Austritte waren sogar ausschliesslich in dieser Periode festzustellen.

Fig. 3 zeigt, dass die Höhe der Schneedecke bei der automatischen Messstation des SLF zu Beginn der Schneeschmelze mit der Spitze des Bergwasseranfalls im Tunnel korreliert. Dieser Zusammenhang wird durch die Beobachtungen im Jahr 2011 eindrücklich bestätigt. Damals blieben grössere Neuschneemengen im Frühling aus und die niedrige Schneedecke wurde ab März bis Mitte Mai langsam abgebaut. Im Tunnel blieb die Schüttmenge von Mai bis August dem entsprechend geringer als in den beiden vorangegangenen Jahren. Die Jahresganglinie verlief flach (Fig. 2).

4 Wasser- und Felstemperaturen

Die Bergwassertemperatur bewegte sich in einer Bandbreite von 9.2 °C bis 23.8 °C. Auffallend sind die ausgeprägten Temperaturrückgänge bei km 104.8 und bei km 106.0 (Fig. 4). Es sind dies jene Bereiche, in welchen während des Vortriebs die stärksten Wasserzutritte verzeichnet wurden (Fig. 7). Die kühlen Temperaturen des Bergwassers in diesen Abschnitten deuten darauf hin, dass in grösserer Höhe infiltrierendes und deshalb eine tiefe Temperatur aufweisendes Meteorwasser das Gebirge relativ rasch durchfliesst. Bei km 204.785 wurde während der Schneeschmelze sogar ein Tiefstwert von nur 7.8 °C gemessen. Die in Fig. 4 eingetragene, werkvertraglich gültige Prognose für die Felstemperatur wurde von Busslinger & Rybach (1998) erstellt. Im Werkvertrag wurde ferner eine Streubreite von ± 5 °C festgelegt. Die im Vortriebsbereich alle 200 m hauptsächlich in der Oströhre gemessenen Felstemperaturen sind in Fig. 4 dargestellt.

Die gemessenen Felstemperaturen lagen zwar ab Felsportal bis in den Bereich des

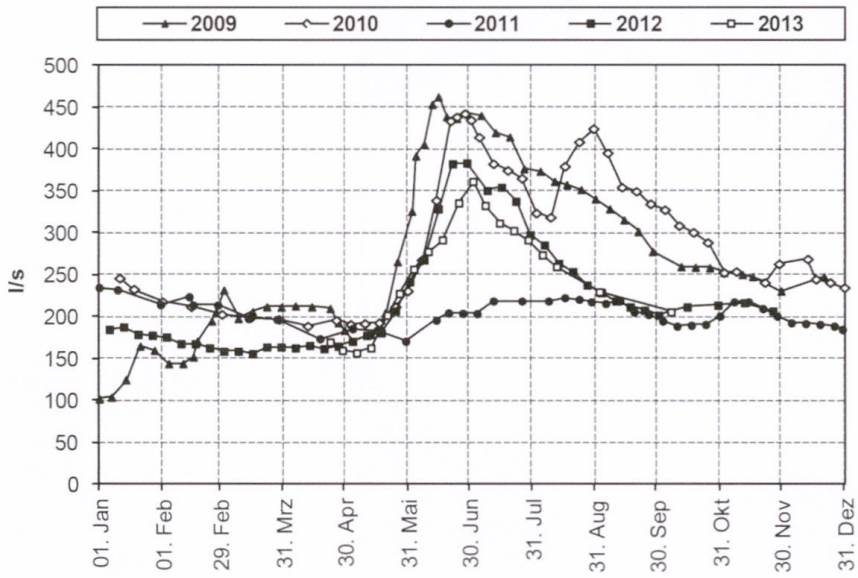

Fig. 2: Jahresganglinien 2009–2013 des Wasseranfalls im Teilabschnitt Erstfeld. Quelle: örtliche Bauleitung (öBL) der Ingenieurgemeinschaft Gotthard-Basistunnel Nord (IG-GBTN).

Öfitals unterhalb der Prognosekurve. Die Temperaturkurve bildet aber die Überdeckung ab; mit Ausnahme des Bereichs bei der Rislauwi (km 101.6). Dort sank sie in einem Abschnitt mit relativ vielen Wasserzutritten ab. Die Temperaturen blieben aber durchwegs innerhalb der Streubreite von ± 5 °C.
Ab km 104 ändert sich das Bild. Die Felstemperatur sank ab und unterschritt den Streubereich in jenen zwei Streckenabschnitten, in denen der Andrang von kühlem Bergwasser am grössten war (Fig. 7). Die Abweichungen vom Prognosewert betrugen:

- 7.3–8.2 °C von km 104.600 – km 104.800
- 6.5–6.9 °C von km 105.800 – km 106.000

Die Felstemperatur korreliert sehr gut mit der Bergwassertemperatur. Da beide Messungen im noch nicht vom Tunnelklima beeinflussten Vortriebsbereich erfolgten, bedeutet das, dass der Fels schon vor dem Tunnelbau von kühlem Wasser durchströmt und abgekühlt wurde. Die Verhältnisse sind, wenn auch weniger ausgeprägt, analog zu jenen in der Piora-Zone, wo der Temperaturabfall rund 15 °C beträgt (Rybach et al. 2006).

Beim Portal Erstfeld wurden im Jahre 2010, d. h. nach Vortriebsende, die folgenden Wassertemperaturen gemessen:

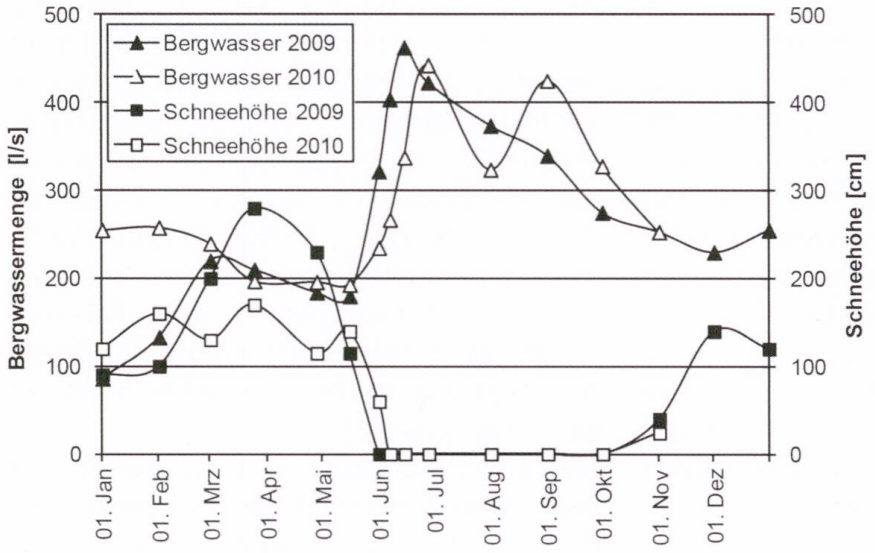

Fig. 3: Vergleich des zeitlichen Verlaufs der bei Seewli (2030 m ü. M.) durch das Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) gemessenen Schneehöhen mit dem Bergwasseranfall im Tunnel.

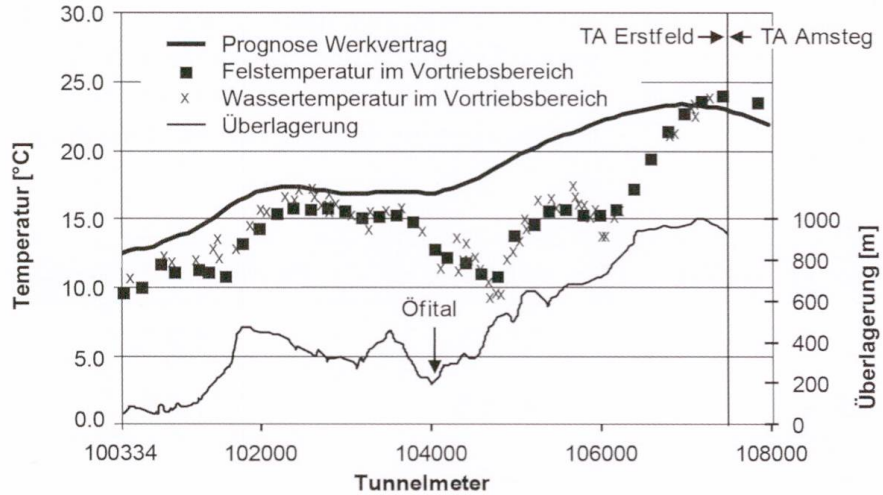

Fig. 4: Gemessene Fels- und Wassertemperaturen im Vergleich mit der Prognose der Felstemperaturen.

- Oströhre 13.5 ± 0.7 °C
- Weströhre 11.9 ± 0.8 °

Dies entspricht den Schätzwerten von 12-13 °C in der Prognose.

Der geringe Anfall von wärmerem Wasser aus den Teilabschnitten Amsteg und Sedrun (bis Kulminationspunkt) beeinflusst somit die Wassertemperaturen am Portal nur unwesentlich, sodass das saubere Bergwasser ohne Behandlung in die Oberflächengewässer eingeleitet und auf die im Projekt optional vorgesehenen Kühltürme verzichtet werden kann.

5 Höhenlage des Einzugsgebietes, Isotopenanalysen

Der Tunnel liegt zwar 8-15 m tiefer als der Grundwasserspiegel im Reusstal (Fig. 5). Die völlig verschiedenen Ganglinien mit relativ geringen Schwankungen des Grundwasserspiegels in den Alluvionen, verglichen mit den ausgeprägten Spitzenwerten der Bergwasserführung im Tunnel, schliessen jedoch einen Zusammenhang zwischen Talgrundwasser und Wasserführung im Tunnel aus.
Das Wasser im Tunnel muss somit aus dem überliegenden Gebirge stammen. Um die mutmassliche mittlere Höhe des Einzugsgebietes zu bestimmen, wurden an zwei zu unterschiedlichen Zeiten entnommenen Wasserproben aus dem Querschlag 16 (km 104.788) Isotopenanalysen durch das Labor HYDROISOTOP GmbH durchgeführt.
Vergleiche mit anderen Regionen der Schweiz (Schotterer et al. 2000) lassen auf eine mittlere Höhe des Einzugsgebietes von 1'500 bis 2'000 m ü. M. schliessen.

6 Auswirkung auf genutzte Oberflächenquellen

Im Rahmen der Voruntersuchungen für den Gotthard-Basistunnel wurde im Auftrag des Bundesamtes für Verkehr in den Jahren 1991-1994 ein Quellenkataster erhoben, der das gesamte mögliche Einflussgebiet des geplanten Basistunnels umfasste. Zudem wurden in dieser Phase umfangreiche Untersuchungen der hydrogeologischen Verhältnisse und eine Modellierung durchgeführt (Arbeitsteam Hydrogeologie 1993). Beurteilt wurde auch die Möglichkeit einer Beeinflussung der Oberflächenquellen. Bei den Quellen im Bereich der Chilcherbergen wurde der Schluss gezogen, dass es sich um frei fliessende Lockergesteins- und Felsquellen handle, die durch den Tunnelvortrieb nicht beeinträchtigt würden.
Die im Rahmen der provisorischen Beweissicherung vor und während der Bauzeit fortgesetzte Überwachung zeigte, dass durch den Tunnelvortrieb private und öffentliche Quellen in den Gebieten Schützen und Chilcherbergen beeinträchtigt wurden. Bei Quellen im Gebiet Frentschenberg ist eine Beeinträchtigung durch den Tunnelbau nicht mit Sicherheit auszuschliessen.
Im Gebiet Schützen wurden durch den erwähnten Wassereinbruch bei km 102.772 drei privat genutzte Quellen stark beeinträchtigt. Die bewohnten Liegenschaften konnten an eine bestehende Wassergenossenschaft angeschlossen werden.
Schwerer wog der Rückgang und das zeitweise Trockenfallen von gefassten Quellgruppen im Bereich der Chilcherbergen oberhalb von Silenen, deren Fassungen

Probennahme	Sauerstoff-18 ($\delta^{18}O$)	Deuterium ($\delta^{2}H$)	Deuterium-Exzess
23.06.2009	-13.04 ‰	-93.1 ‰	11.2 ‰
29.09.2009	-13.08 ‰	-92.8 ‰	11.8 ‰

Tab. 1: Resultate der Isotopenanalysen Bergwasser Querschlag 16.

direkt über dem Tunnel lagen, wie das Querprofil Fig. 5 und die Situation Fig. 7 zeigen.

Betroffen waren einerseits Liegenschaften im Gebiet der Chilcherbergen, andererseits die Wassergenossenschaften Kirchbach und Schipfenbach, die einen grossen Teil des Siedlungsgebietes von Silenen versorgten. Bei diesen Quellgruppen liegen auch weiter zurückreichende Messungen der Schüttmengen durch die Wassergenossenschaften vor. Vor dem Tunnelbau lieferte die Felsquelle Kirchbach Nr. 1001 (Lage siehe Fig. 7) zuverlässig Wasser in einer Bandbreite zwischen 145 und 440 l/min. Die Ergiebigkeit der Quellen Schipfenbach streute dagegen sehr stark, was auf ein teilweise oberflächennahes, auf Witterungseinflüsse reagierendes Einzugsgebiet schliessen lässt. Die Quellen fielen aber auch im Winter nie trocken (Fig. 6).

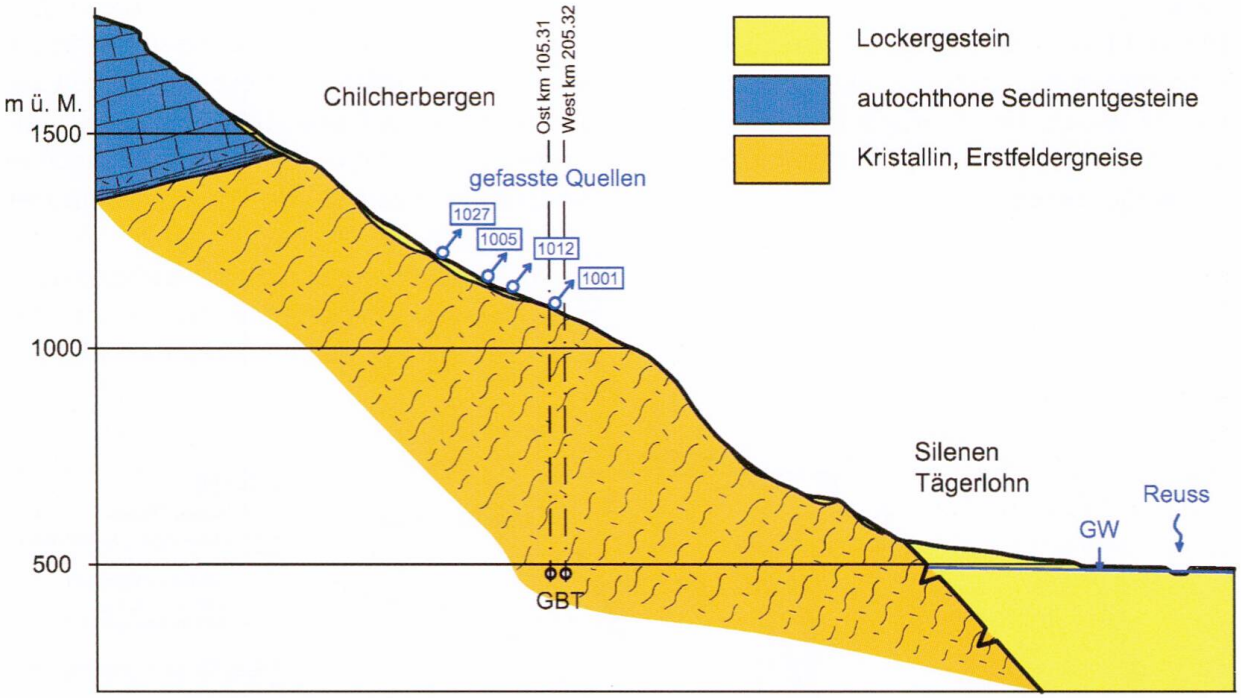

Fig. 5: Geologisches Querprofil Chilental bei km 105.31 des Gotthard-Basistunnels mit Lage der gefassten Quellen.

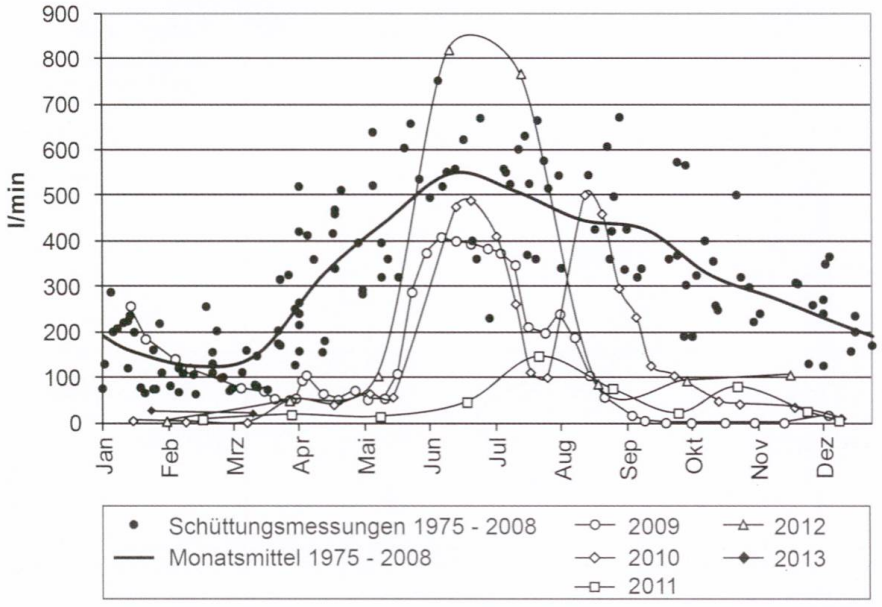

Fig. 6: Gesamtschüttung der für die Wassergenossenschaft Schipfenbach gefassten Quellen im Jahresverlauf vor und nach dem Tunnelbau (Quelle öBL IG-GBTN).

Seit der Tunnelvortrieb die Chilcherbergen unterfahren hat, sind die Quellen der beiden Wassergenossenschaften in der Zeit vom Oktober bis April weit weniger ergiebig als vor dem Tunnelbau und fallen im Hochwinter (Januar - Februar) sogar trocken. Während der Schneeschmelze springen sie wieder an und erreichen teilweise die ursprüngliche Schüttmenge, ein Umstand der für die Interpretation des Wasserhaushaltes im Gebirge vor und nach dem Tunnelbau wichtig ist.

Die beiden vom Rückgang ihrer Quellen betroffenen Wassergenossenschaften erhalten ihr Wasser provisorisch im Rahmen der bestehenden Notwasserversorgung von der Wassergenossenschaft Amsteg.

7 Massenbewegung als Ursache einer hohen Tiefensickerung

Wie aus Fig. 7 hervorgeht, ziehen oberhalb der stark wasserführenden Zone im Tunnel an der Oberfläche die Abrisskanten einer Massenbewegung durch. Sie erstrecken sich vom Steintal westlich der kleinen Windgälle bis zum Pfaffen. Seit einem Felssturz im Jahre 1936, der sich aus der aus Malm bestehenden Felswand löste und auf den Ribiboden niederging, wird das Gebiet durch die SBB und den Kanton Uri geodätisch überwacht. Das geodätische Netz wurde 1984 auf die gesamte Talflanke inklusive Kristallin ausgedehnt. Auf die Resultate der Verschiebungsmessungen wurde von Wegmüller et al. (2013) ausführlich eingegangen.

Die Messungen ergaben, dass eine grossräumige Massenbewegung im Gange ist, die längs der erwähnten Linie Steintal - Pfaffen-

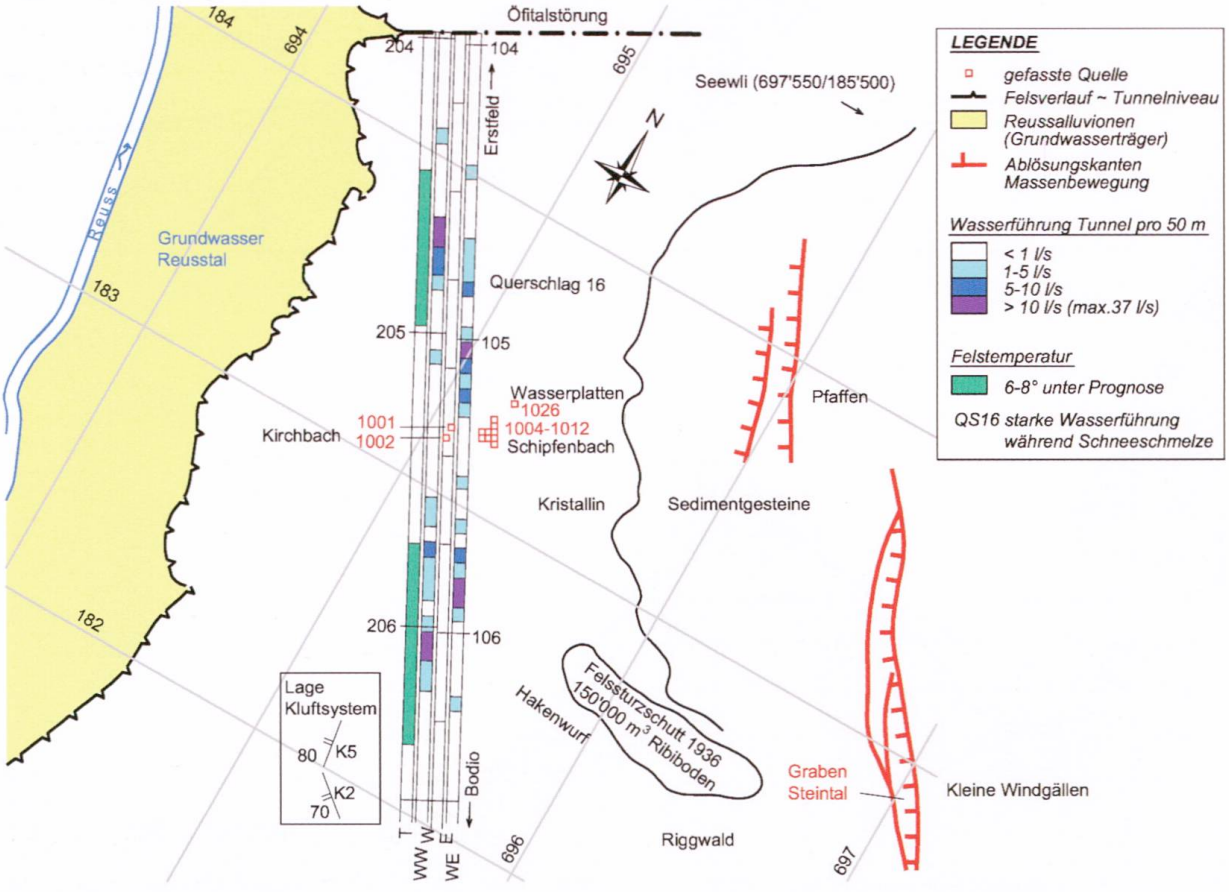

Fig. 7: Hydrogeologische Situation. Wasserführung im Tunnel, aufgenommen im Vortriebsbereich, sowie Lage der gefassten Oberflächenquellen.

türme einsetzt und auch das Kristallin unterhalb der Chilcherberge erfasst hat. Die Verschiebungsbeträge sind bei den am höchsten gelegenen Punkten im Malm mit Horizontalkomponenten von 8 mm/Jahr am grössten und nehmen gegen unten ab. Sie betragen aber auf der Höhe der Chilcherberge immer noch rund 4 mm/Jahr (Fig. 8 in Wegmüller et al. 2013). Der Tiefgang der Massenbewegung ist unbekannt. Sie erreicht aber den Bereich des Tunnels nicht, denn in diesem wurden keine klaffenden Klüfte oder Risse im Spritzbeton festgestellt, die auf eine aktive Gebirgsbewegung schliessen lassen würden.

Es ist unbekannt, wie lange die Bewegung im Gange ist. Aufgrund der Breite des Steintals dürfte sie aber vor mehreren tausend Jahren eingesetzt haben. In dieser Zeit ist durch die Massenbewegung ein grosser Klufthohlraum entstanden. Im obersten Bereich beträgt der im oberflächennahen Bereich neu geschaffene Hohlraum in Richtung der Bewegung in 100 Jahren 50–80 cm pro m Höhe. Selbst wenn die Spalten mit Lockergestein gefüllt wurden, bleibt immer noch ein Speichervolumen von einem Drittel.

Im Riggwald südlich von Schipfenbach sind in der Sackungsmasse aus Kristallin zudem zahlreiche Nackentäler vorhanden (siehe geologischer Atlas der Schweiz, Blatt Schächental, 1987). Dort versickert das nicht verdunstende oder von der Vegetation aufgenommene Meteorwasser vollständig im Untergrund. Im Bereich der Massenbewegung kommen südlich des Öfitals und oberhalb der Chilcherberge mit Ausnahme des Selderbaches keine dauernden Fliessgewässer vor.

Die durch die Massenbewegung entstandenen offenen Trennflächen führten nicht nur zu einer hohen Speicherkapazität, sondern auch zu einer überproportionalen hohen Durchlässigkeit (Sabarly 1968). Es kann davon ausgegangen werden, dass sich vor allem die talparallelen steilen Klüfte des Systems K5, sowie die spitzwinklig zu Tal und Tunnel verlaufenden, ebenfalls steilen Klüfte des Systems K2 geöffnet haben (Lage siehe Fig. 7).

Der grösste Teil des mutmasslichen Einzugsgebietes des im Tunnel anfallenden Wassers dürfte somit den Bereich Steintal – Riggwald – Chilcherbergen umfassen und das einsickernde Meteorwasser in nordwestlicher Richtung zum Tunnel strömen.

8 Hypothese zum Bergwasserhaushalt im Bereich des Tunnels km 104.6 – 106.2

Es können prinzipiell die nachfolgenden drei Zustände unterschieden werden.

A: Vor dem Tunnelbau

Der Bergwasserspiegel liegt hoch. Die gefassten Oberflächenquellen auf den Chilcherbergen führen ständig Wasser. Die Schüttungen schwanken zwischen 4 und 22 l/s, zeigen aber im Mittel eine jahreszeitliche Ganglinie. Die Grenze zwischen gesättigter und ungesättigter Zone liegt oberhalb der Quellaustritte. Die Tiefensickerung ist vom Meteorwasseranfall abhängig. In grösserer Höhe einsickerndes und dem entsprechend kühles Meteorwasser fliesst in grösseren Mengen relativ rasch in die Tiefe und kühlt das Gestein ab. Vorfluter dürfte ein tiefer Bereich des Talgrundwassers im mit Alluvionen gefüllten Felstrog sein. Denn die ganze Bergflanke unterhalb der Chilcherberge ist trocken und Talwegquellen sind nicht vorhanden.

B: Nach dem Tunnelbau, niedrige Tiefensickerung, absinkender Bergwasserspiegel

Zwischen Spätsommer und Frühling fällt relativ wenig Meteorwasser an, das in die Tiefe sickert. Der Bergwasserspiegel sinkt als Folge der Drainage durch den Tunnel ab, die Oberflächenquellen versiegen. Der hydrostatische Druck über dem Tunnel ist kleiner geworden. Es stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein, bei welchem rund 150–250 l/s dem Tunnel zuströmen.

C: Nach dem Tunnelbau, zeitweise hohe Tiefensickerung, ansteigender Bergwasserspiegel

Bei hoher Tiefensickerung zur Zeit der Schneeschmelze ab Mitte April sowie bei lang anhaltenden Niederschlägen ist die Tiefensickerung grösser als die Abflusskapazität des Gebirges im Bereich der Tunneldrainage. Der durch die Massenbewegung geschaffene Speicher wird gefüllt, der Bergwasserspiegel steigt an und erreicht den Bereich der Chilcherberge. Die Oberflächenquellen springen wieder an. Der ansteigende Wasserdruck führt zu einem Anstieg der dem Tunnel zufliessenden Wassermenge. Der Spitzenwert wird entsprechend dem allmählichen Anstieg des Bergwasserspiegels mit einer zeitlichen Verzögerung zum Höhepunkt der Schneeschmelze erreicht.

Nach dem Ende der Schneeschmelze respektive einer Niederschlagsperiode führt das Entleeren des gespeicherten Wassers und der damit verbundene Druckabfall annähernd zu einer «Trockenwetterfalllinie» des Bergwasseranfalls im Tunnel.

Eine schematische Darstellung der Wasserzirkulation vor und nach dem Tunnelbau findet sich in Fig. 8 des Artikels von Wegmüller et al. (2013).

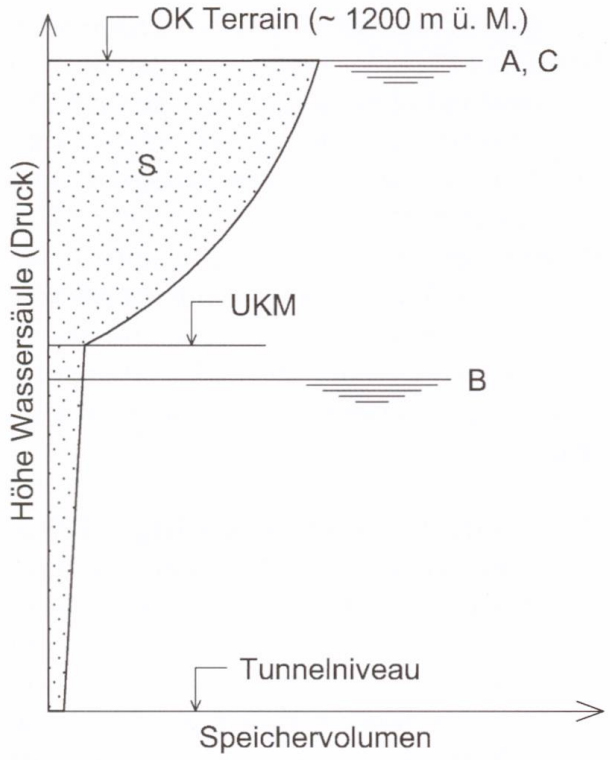

Fig. 8: Hypothetisches, nicht massstäbliches Schema des Bergwasserhaushaltes. Schnitt im Bereich Chilcherbergen – Basistunnel. S = Speicher, UKM = Untergrenze Massenbewegung. A–C Zustände Bergwasserspiegel (siehe Text).

9 Prognose und Befund, künftige Maxima

Während im Teilabschnitt Erstfeld die Prognose bezüglich Geologie und Geotechnik vollumfänglich zutraf, war dies in Bezug auf den Bergwasseranfall und die mögliche Beeinflussung von Oberflächenquellen nicht der Fall.

In der Geologie des Bauprojektes (BTG 2004) wurden aufgrund der im Rahmen der Voruntersuchungen durchgeführten Modellrechnungen sowie der Erfahrungswerte bei bestehenden Bauwerken die folgenden Schätzwerte für den Bergwasseranfall angegeben:

- permanent wahrscheinlich: 20 – 50 l/s
- vor Durchschlag: 40 – 100 l/s
- initial: bis 120 l/s

In der Submission wurden diese Werte vom Projektingenieur übernommen, wobei 40 l/s als wahrscheinlich und 100 l/s als konservativ bezeichnet und für den initialen Wasseranfall 160 l/s eingesetzt wurden.

Beim Befund überschreiten bereits die von Oktober – April gemessenen Werte von 150–250 l/s die Prognosewerte um ein Mehrfaches, die Spitzenwerte von rund 450 l/s sogar um das Zehnfache.

Der Bergwasseranfall aus dem Teilabschnitt Erstfeld weicht zwar erheblich von der Prognose ab (Tab. 2, obere Zeile). Im Endzustand, bei welchem das gesamte Bergwasser nördlich des Kulminationspunktes beim Portal Erstfeld anfällt, ist dies jedoch nicht der Fall (Tab. 2, untere Zeile). Dies weil der geringe Wasseranfall im Teilabschnitt

Permanenter Bergwasseranfall	Prognose Bauprojekt 2003	Befund
Bauzustand (vor Durchschlag zu Amsteg)	40–100	190–463
Nach Durchschlag Portal – Scheitelpunkt	250–555	217–492

Tab. 2: Bergwasseranfall (l/s) am Portal, Vergleich Prognose und Befund.

Amsteg weit unter der Prognose liegt. Aufgrund der Modellierungen im Rahmen des Vorprojektes waren nämlich hohe Wasserzuflüsse aus den Störungen im südlichen Teil des Aar-Massivs prognostiziert worden. Sie blieben jedoch wegen der auf Tunnelniveau lehmigen Matrix und geringeren Mächtigkeit der Störungen aus. Der höhere Wasseranfall im Teilabschnitt Erstfeld wird somit durch den geringeren Wasseranfall im Teilabschnitt Amsteg kompensiert.

Die Hauptdrainageleitung, deren Durchmesser vor Baubeginn festgelegt werden musste, wurde basierend auf der Prognose von maximal 555 l/s dimensioniert. Das anfallende Wasser ist jedoch nicht auf beide Röhren gleichmässig verteilt, denn in der Weströhre fallen ca. 2/3 der Gesamtmenge an. Deshalb werden dort Massnahmen zur Verbesserung der Strömungsverhältnisse im Bereich von drei Schächten ergriffen, mit dem Ziel, eine Kapazität von 400 l/s zu erreichen.

Der Projektingenieur und der Bauherr wünschten eine Prognose für den künftigen Maximalwert während der im Projekt vorgegebenen hundertjährigen Gebrauchsdauer. Da die wenigen bisher vorliegenden Werte keine statistische Auswertung ermöglichen, wurde eine grobe Beurteilung anhand der Beziehung zwischen Schneeschmelze bei Seewli und dem Bergwasseranfall im Tunnel vorgenommen. Vor Beginn der Schneeschmelze betrug die Schneehöhe im Jahr 2009 230 cm und 2010 140 cm. Gemäss dem hydrogeologischen Atlas der Schweiz beträgt die Schneehöhe für ein 50-jähriges Ereignis 425 cm und für ein hundertjähriges Ereignis 470 cm. Extrapoliert man nun die zwischen 2009 und 2010 infolge der grösseren Schneehöhe erfolgte Zunahme der Wassermenge im Tunnel, so erhält man für ein hundertjähriges Ereignis einen Spitzenwert von 510–520 l/s. Es handelt sich, wie gesagt, um eine sehr grobe Schätzung. Ihr Wert liegt im Bereich des ursprünglich geschätzten Maximalwertes.

Die Hauptdrainage sollte somit für die in den nächsten hundert Jahren zu erwartenden Wassermengen genügen. Voraussetzung ist allerdings, dass sich das Klima bezüglich des Schneedeckenaufbaus nicht ungünstig entwickelt. Der in den Jahren 2009 – 2013 bisher für die Spitzenwerte (Fig. 2) beobachtete Trend deutet aber eher auf eine Abnahme der Maximalwerte hin.

Verdankungen

Wir danken der AlpTransit Gotthard AG, Luzern, für die Druckerlaubnis und der örtlichen Bauleitung der Ingenieurgemeinschaft Gotthard-Basistunnel Nord für die zur Verfügung gestellten Unterlagen sowie dem Institut für Schnee- und Lawinenforschung Davos für die Angaben zur Schneehöhe bei Seewli.

Literatur

BTG Büro für Technische Geologie AG 2004: Alp-Transit Gotthard AG, Basistunnel, Teilabschnitt Erstfeld, Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie; Geologischer Bericht zum Bauprojekt Nr. 4343-41 vom 2.7.2003, rev. 15.1.2004 (unpubliziert).

BTG Büro für Technische Geologie AG 2011: Alp-Transit Gotthard AG, Basistunnel, Teilabschnitt Erstfeld, Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie; Schlussbericht Nr. 4343-81 vom 15.10.2010, rev. 19.8.2011 (unpubliziert).

Busslinger, A. & Rybach, L. 1998: Gotthard-Basistunnel, Geothermische Untersuchungen, Prognose der ursprünglichen Felstemperatur. Interner Bericht ETHZ 2011.

Keller, F. & Ziegler, H-J. 2009: Geologie Gotthard-Basistunnel, aktueller Befund und Rückblicke. Sia Dokumentation D 0232. Swiss Tunnel Congress 2009 – Fachtagung für Untertagebau, 23–30.

Naturforschende Gesellschaft des Kantons Uri 2012: Geologie des Kantons Uri, 2. Auflage. Gisler Druck, Altdorf.

Rybach, L., Busslinger, A. & Keller, F. 2005: Predicted and measured rock temperature in the Gotthard Base Tunnel – a comparison. In Geologie und Geotechnik der Basistunnels am Gotthard und am Lötschberg, Herausgeber Simon Löw. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.

Sabarly, F. 1968: Les injections et les drainages de fondation de barrage. Géotechnique 1968.

Schotterer, U., Stocker, T., Bürki, H. U, Hunziker, J., Kozel, R., Grasso, D. A. & Tripet, J. P. 2000: Das Schweizer Isotopen Messnetz, Trends 1992–1999. Fachzeitschrift gwa Gas Wasser Abwasser, 10/2000.

Wegmüller, U., Strozzi, T., Gruner, U., Gisler, Ch. & Hauser, M. 2010: Verschiebungsmessungen mittels Satellitenradar im Urner Reusstal oberhalb der Nord-Süd-Verkehrsachse im Zeitraum 1992–2010. Swiss Bull. angew. Geol. Vol. 18/2, 139–153.

Karten

Geologischer Atlas der Schweiz 1 : 25'000, Blatt Schächental, Atlasblatt 83, 1987. Schweiz Geol. Kommission und Landeshydrologie und -geologie.