

## Der Gotthard-Basistunnel bringt Bewegung ins Gebirge!

Volker Lützenkirchen, Dr. von Moos AG und Amt für Umweltschutz des Kantons Zug

In den Jahren 1997/1998 wurde bei einer routinemässigen Vermessung durch die swisstopo entlang der Gotthard-Passstrasse ein erstaunliches Phänomen festgestellt: Von Hospental UR in Richtung Süden zeigten sich beim Vergleich mit der letzten Nivellementmessung von 1970 deutliche Senkungen bis gegen 12 cm [1]. Das Maximum der Senkung befand sich im Bereich südlich der Kantonsgrenze UR-TI bei "Brüggboden" und "Sustenegg", wo ein recht harter, granitähnlicher Gneis, der Gamsboden-Granitgneis, verbreitet ist (Abbildung 1). Von dort weiter Richtung Süden nahm der Senkungs- oder Setzungsbeitrag wieder ab. Die Setzungen waren entlang der Passstrasse über eine Strecke von fast 10 km festzustellen. Nachmessungen

mit Schleifenschluss durch Tunnels und Schächte bestätigten diesen Befund. Der Bereich mit den grössten Setzungsbeiträgen liegt dabei ca. 800 m westlich des Trassees des Gotthard-Strassentunnels.

Was war die Ursache? Es zeigte sich bei weiteren Untersuchungen eine deutliche Korrelation zwischen grösseren Bergwasserzuflüssen zum Gotthard-Strassentunnel und den Setzungsbeiträgen (Abbildung 1). Solche Zuflüsse zu tiefliegenden Tunnels (>400 m Überdeckung) in kristallinen Gesteinen wie Graniten, Gneisen, Schiefen oder Amphiboliten sind praktisch immer an Bruchzonen, sogenannte Stör- oder Störungszonen, gebunden. In diesen ist die hydraulische

Durchlässigkeit gegenüber dem Nebengestein häufig um mehrere Grössenordnungen erhöht. Wenn beim Vortrieb eines Tunnels eine solche Störzone ange-

schnitten wird, können Bergwasserzuflüsse von anfänglich mehreren Zehnerlitern bis zu mehreren hundert Litern pro Sekunde die Folge sein.

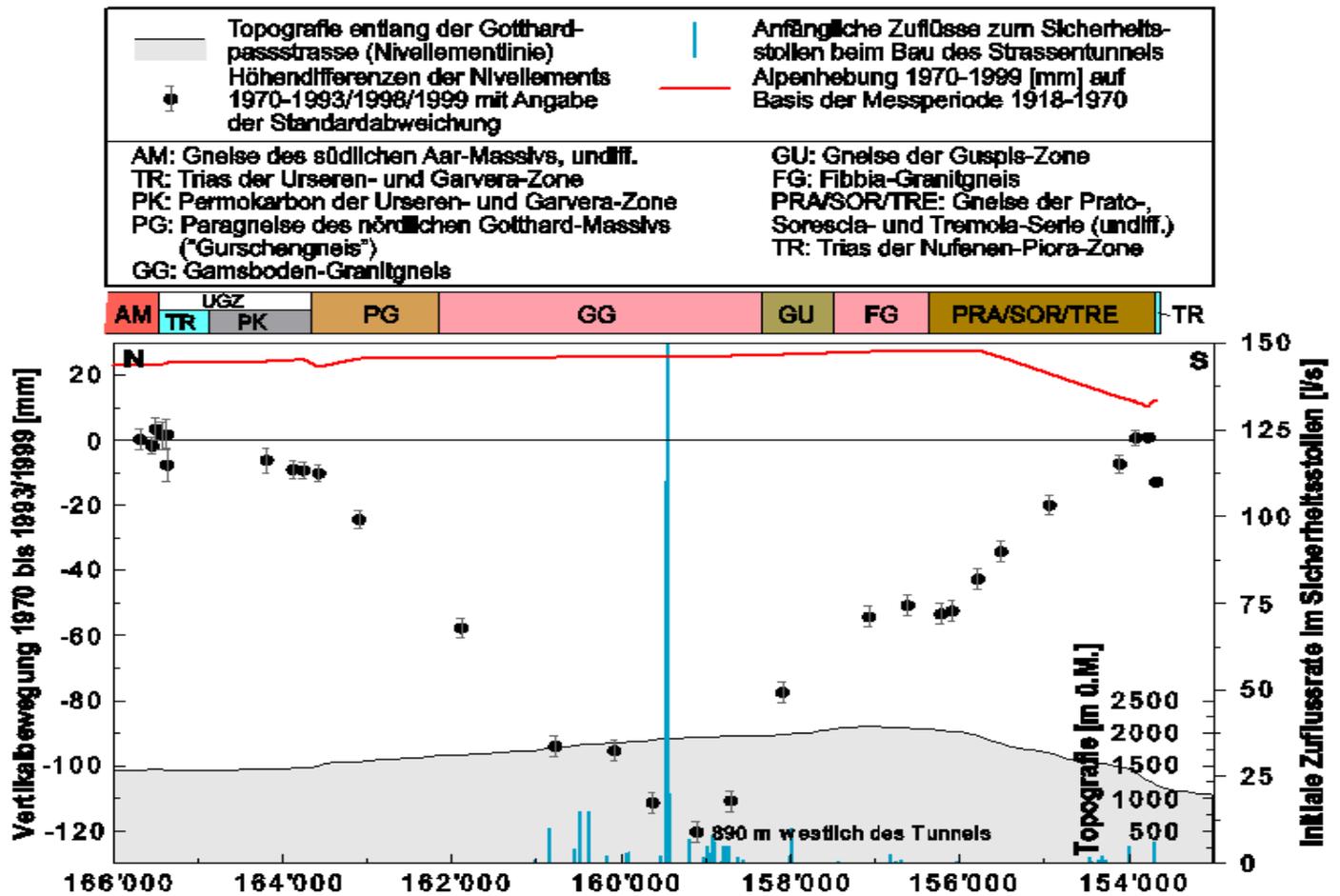


Abbildung 1: Kombinierte Darstellung der Zuflüsse zum Gotthard-Strassentunnel mit Geologie im Tunnel und den Setzungen zwischen 1970 und 1997/1998 an der Gotthard-Passstrasse auf einem Nord-Süd-Profil, wobei die dargestellte Topografie der Passstrasse entspricht

Auf dem Niveau des Tunnels herrscht ein Wasserdruck, welcher grössenordnungsmässig der Wassersäule bis zum Bergwasserspiegel entspricht. Dieser befindet sich, ausser im Bereich von Kreten, meist nahe der Oberfläche. Bei tiefliegenden Tunnels und einer Überlagerung von mehr als 1000 m beträgt der Wasserdruck somit 100 bar und mehr. Da dieser allseitig besteht, wird entsprechend die effektive Auflast des Gebirges resp. des Gesteins verringert (Auftrieb). Bergwasserzuflüsse zum Tunnel wiederum reduzieren diesen sogenannten Porenwasserdruck in

Tunnelnähe bis fast auf atmosphärisches Niveau. Entsprechend nehmen die Auflast des Gebirges und somit die vertikalen Spannungen zu. Und dies wiederum führt zu leichten Verformungen des Gebirges. Je grösser die Distanz zum Tunnel, desto geringer fällt die Porenwasserdruckänderung gegenüber dem vom Tunnel unbeeinflussten Zustand aus.

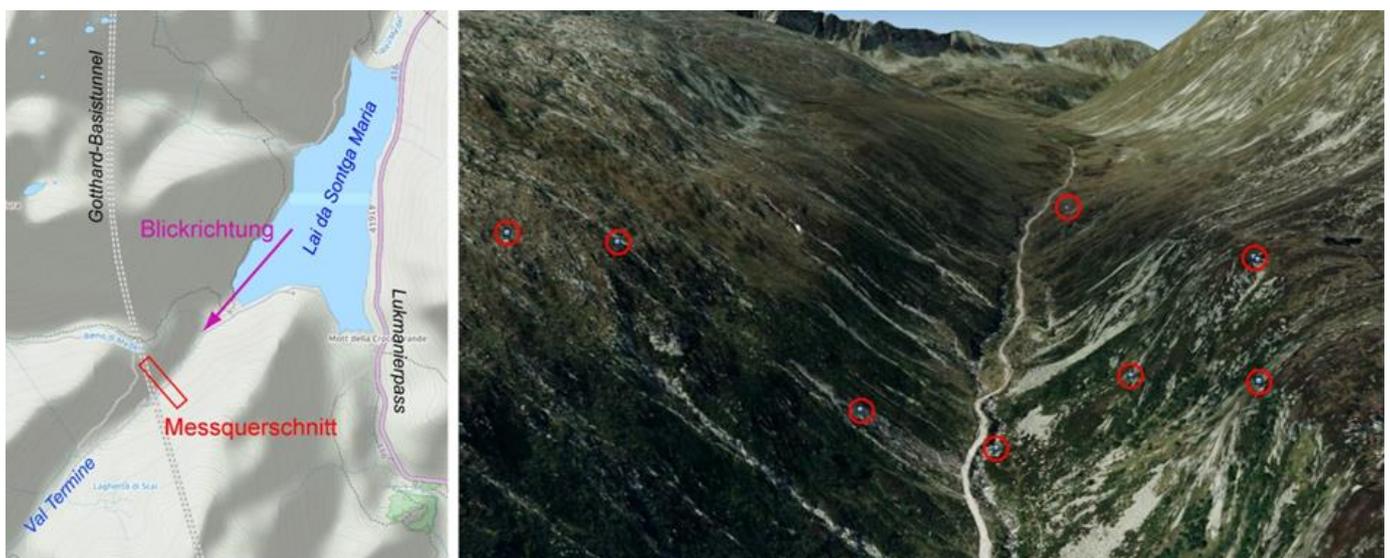
Solche Prozesse hatten schon Ende der 1970er Jahre bei der Stauhaltung Zeuzier zu erheblichen Schäden geführt, als es im Pilotstollen des damals geplanten Rawiltunnels

[2] zu Wassereintrüben von insgesamt ca. 800 l/s kam. Wochen später zeigten sich Risse in der ca. 1.5 km entfernt und ca. 300 m höher gelegenen Beton-Bogenstau-mauer Zeuzier [3]. Der Bau des Rawiltunnels wurde gestoppt, die Mauer repariert. Aber: Diese Phänomene wurden in einer zumindest teilweise „weichen“ Wechsel-folge mit Kalken und Mergeln der Wildhorndecke beobachtet. Aufgrund dieser Erfahrungen war nicht klar: Ist dies auch im harten Granit möglich?

Der „zufällige“ Befund an der Gotthard-Passstrasse war sicher ein Glücksfall: Denn in der Folge wurde intensiv untersucht, ob die Stauhaltungen im Bereich des Gotthard-Basistunnels gefährdet sein könnten. Für die Stauhaltungen Curnera, Nalps und Sta. Maria (siehe weiter unten auf Abbildung 4) konnte ein Einfluss des Gotthard-Basistunnels in der Folge nicht ausgeschlossen werden, da nicht nur Geländesenkungen auftreten, sondern aufgrund der Form des muldenförmigen „Setzungstrichters“ und der starken Oberflächentopografie auch horizontale Bewegungen, welche die Bogenstau-mauern nur in einem bestimmten Rahmen ohne Schaden aufnehmen können. Noch vor Beginn des Tunnelvortriebs Richtung Süden ab dem Bereich des Schachts Sedrun im Jahr 2002 wurde mit

dem Aufbau einer Messüberwachung begonnen, welche im Wesentlichen auf folgenden Elemente aufbaute (Abbildung 4):

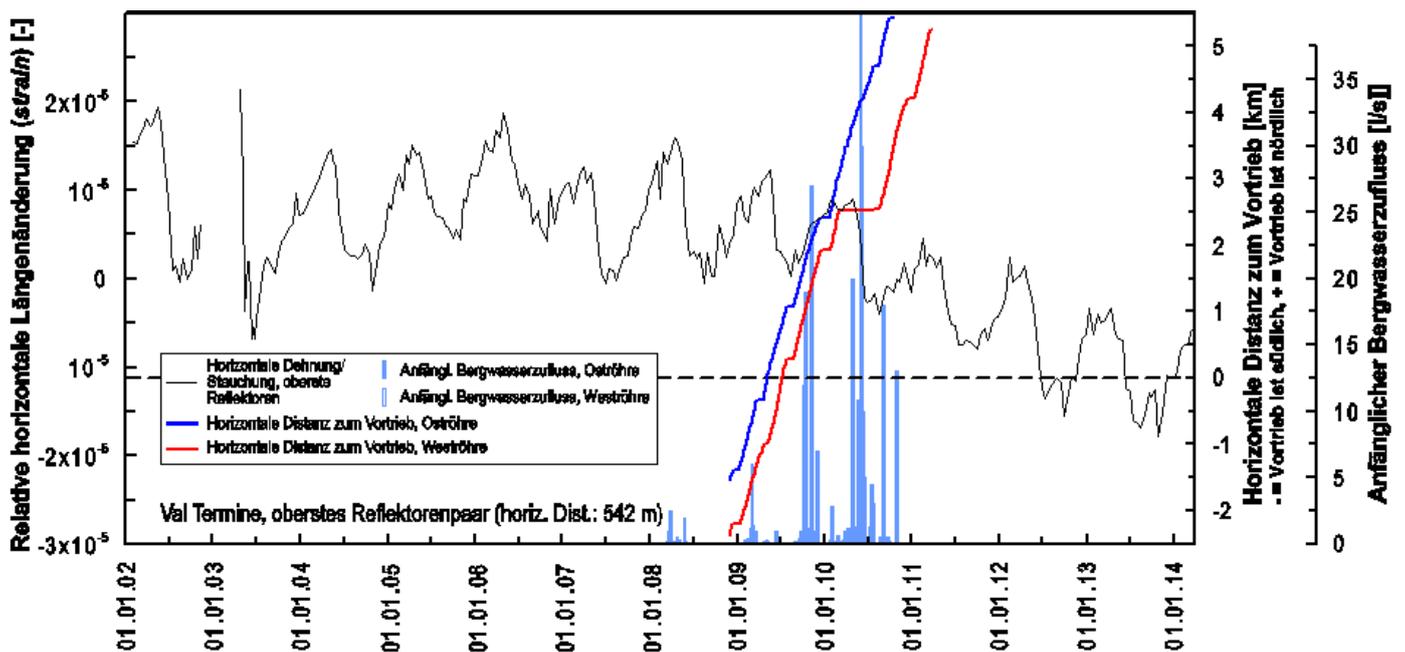
1. Präzisionsnivelements (jeweils angepasst an Vortriebsstand und Ereignisse), ab 2005 jährlich jeweils eine sehr umfangreiche Messung von ca. 95 km Länge
2. Ermittlung von für die Stau-mauern tolerierbaren Geländebewegungen an der Oberfläche
3. Automatische dreidimensionale tachymetrische Messungen im Bereich der drei Stau-mauern und an zwei weiteren Talquerschnitten im Val Termine und im südlichen Val Nalps: Dabei werden Phasenverschiebungen bei Distanzmessungen mittels Laser und Prismen ausgenutzt (Beispiel Val Termine in Abbildung 2).
4. Präzisions-GPS-Messungen an 10 Stationen
5. Zeitnahe Auswertung der Messungen, Begleitung durch eine Fachkommission mit Experten im Auftrag der Bauherrin, der AlpTransit Gotthard AG, Festlegung von maximal zulässigen Bergwasserzuflüssen und Definition von Massnahmen an der Oberfläche und im Tunnel.



**Abbildung 2:** Tachymetrie-Talquerschnitt Val Nalps; links: Situation (© OpenCycleMap.org), rechts: Lage der Messpunkte (Grundlage ©Google Earth), Distanz zwischen oberen Punkten: 542 m

Die frühe Installation von Messsystemen mit Vorlauf von mehreren Jahren, bis der Tunnelvortrieb den jeweiligen Bereich erreicht hatte, erlaubte die Beobachtung des natürlichen, ungestörten Zustands. Die Überraschung: Das Gebirge bewegt sich auch ohne Einflüsse eines Tunnels im Jahresgang! Abbildung 3 zeigt die Änderung der horizontalen Distanz zwischen den zwei oberen, in Abbildung 2 dargestellten Reflektoren quer zur Talachse. Der als relative Längenänderung (Längenänderung/ Distanz) angegebene Verlauf entspricht einer Bewegung von 10 bis 15 mm. Die Horizontaldistanz zwischen den Talflanken vergrößert sich langsam ab Sommer und verringert sich ab der Schneeschmelze wieder relativ schnell. Diese saisonale Schwankung

konnte auf elastische Verformungen des Gebirges als Folge eines schwankenden Bergwasserspiegels zurückgeführt werden [4]: Während der Schneeschmelze wird viel Grundwasser resp. Bergwasser neu gebildet, d.h. es versickert viel in den Felsuntergrund und der Bergwasserspiegel steigt an. Als Folge davon verringert sich die "Auflast" des Gebirges, und dies führt zu geringen elastischen Verformungen des Gesteins, was in einer Schliessung des Tals resultiert. Im Sommer sinkt der Bergwasserspiegel und das Tal öffnet sich wieder. Stärkere Niederschlagsereignisse während der Monate ohne Schneebedeckung konnten mit kleineren Bewegungsbeträgen korreliert werden [4].



**Abbildung 3:** Relative Änderung der horizontalen Distanz zwischen den oberen beiden Vermessungspunkten im Messquerschnitt Val Termine (Lage siehe Abbildung 2), horizontale Distanzen zum Vortrieb und anfängliche Bergwasserzuflüsse zum Gotthard-Basistunnel im Teilabschnitt Faido nördlich der Piora-Zone

Abbildung 3 zeigt jedoch auch deutlich den Einfluss des Vortriebs des Gotthard-Basistunnels: Ab 2009 zeigt sich eine zunehmende dauerhafte Verkürzung der Horizontal-distanz quer zum Tal, bis 2014 beläuft sich diese auf ca. 10 mm. Zudem senkt sich dieser Bereich bis Sommer

2015 um ca. 30 bis 40 mm. Auch an den anderen genannten Messquerschnitten zeigten sich solche Einflüsse des Vortriebs. Die Bewegungsbeträge überschritten jedoch nie annähernd kritische Werte.



Abbildung 4 zeigt den aus Vermessungsdaten interpolierten Setzungstrichter, welcher aber nur näherungsweise der Realität entspricht, da die Datenpunkte räumlich nicht gleichmässig verteilt sind. Die maximalen gemessenen Geländesenkungen an der Oberfläche betragen im Sommer 2015 fast 100 mm, die tatsächlichen Senkungen dürften noch etwas grösser sein und im Bereich der Stauhaltung Nalps über dem GBT aufgetreten sein. In den meisten auf Abbildung 4 dargestellten Bereichen sind die Setzungsbewegungen inzwischen abgeklungen oder haben sich stark verlangsamt. Im Bereich der Stauhaltungen sind keine relevanten Bewegungen mehr festzustellen.

Die messtechnische Überwachung und die Begleitung durch ein Expertenteam waren in diesem anspruchsvollen technisch-wissenschaftlichen Neuland (einen ähnlichen Fall dürfte es bisher nicht gegeben haben) sehr wertvoll: Allzu konservative, ursprünglich vorgesehene Vorgaben für die zulässigen Bergwasserzuflüsse im Tunnel konnten gelockert und sehr aufwändige Massnahmen vermieden werden – diese hätten die Kosten wohl massiv beeinflusst. Die Sicherheit der Stauanlagen war jedoch jederzeit gewährleistet.

Weitere Informationen finden sich in [5], in einem im November 2016 erschienenen Buch "Tunnelling the Gotthard" [6] sowie im Geologischen Bericht zum Gotthard-Basistunnel von der swisstopo [7].

## Referenzen

- [1] Zangerl C, Eberhardt E, Loew S. Ground settlements above tunnels in fractured crystalline rock: numerical analysis of coupled hydromechanical mechanisms. *Hydrogeol J* 2003; 11: 162–173
- [2] Schneider TR. Stauanlage Zeuzier - Geologisch-geotechnische-hydrogeologische Aspekte der Mauerdeformation. *Wasser Energ Luft* 1980; 72: 193–200
- [3] Biedermann RR, Gicot O, Egger K, Schneider TR. Das Verhalten der Staumauer Zeuzier. *Wasser Energ Luft* 1980: 180–200
- [4] Hansmann J, Loew S, Evans KF. Reversible rock-slope deformations caused by cyclic water-table fluctuations in mountain slopes of the Central Alps, Switzerland. *Hydrogeol J* 2012; 20: 73–91. doi:10.1007/s10040-011-0801-7
- [5] Loew S, Lützenkirchen V, Hansmann J, Ryf A, Guntli P. Transient surface deformations caused by the Gotthard Base Tunnel. *Int J Rock Mech Min Sci* 2015; 75: 82–101. doi:10.1016/j.ijrmms.2014.12.009
- [6] <https://www.swisstunnel.ch/shop/>
- [7] <http://www.toposhop.admin.ch/de/shop/products/publications/geology/reports/reportsPDF>

## Impressum

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften  
www.satw.ch  
August 2016  
Dieser Artikel entstand für die SATW Rubrik „Im Fokus“ zum Thema Gottardo 2016.  
Gestaltung: Claudia Schärer  
Bilder: Volker Lützenkirchen