



Der Gotthard-Basistunnel – ein Bohrkern durch die Alpen

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

Geologen stochern meist im Dunkeln – zumindest im konkreten Sinn. Eine wichtige Aufgabe von Geologinnen und Geologen ist es, anhand von zur Verfügung stehenden Erkenntnissen und Daten eine möglichst zutreffende und präzise Vorstellung vom Aufbau des lokalen Untergrundes oder auch eines ganzen Gebirges und den Eigenschaften der Gesteine zu entwickeln. Diese Modellvorstellung muss in der Regel Ingenieurinnen und Ingenieuren und anderen Projektbeteiligten zur Verfügung gestellt werden – angepasst an die Aufgabenstellung respektive an das Projekt.

Der Untergrund kann zwar mit verschiedenen indirekten geophysikalischen Methoden erkundet werden, mit zunehmender Tiefe respektive betrachtetem (Gebirgs-) Volumen nimmt die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Ergebnisse in der Regel ab. Klug platzierte

Bohrungen, ergänzt mit Bohrlochmessungen, sind daher unerlässlich, um Annahmen über den Untergrund zu verifizieren, Proben gewinnen zu können und Laborversuche durchführen zu können.

Je besser die Kenntnis der Untergrundverhältnisse, desto geringer ist das Risiko unvorhersehbarer Erschwernisse beim Vortrieb. Des Weiteren können Tunneldesign, Bauabläufe und Vortriebsmethode optimiert werden. Bei den notwendigen geologischen Prognosen für Tunnelprojekte müssen unter anderem folgende wichtigen Fragen beantwortet werden:

1. Wie ist das Gebirge aufgebaut (tektonische Gross-einheiten, grosse Überschiebungen)?

2. Wo liegen entlang des Tunnels geologische Schlüsselabschnitte mit potenziell grossen Vortriebschwierigkeiten?
3. Welche Gesteine mit welchen Eigenschaften (Festigkeit, hydraulische Durchlässigkeit) sind zu erwarten?
4. Wie ist die Orientierung (Raumlage) von Trennflächen (z.Bsp. Klüfte) und grösseren Bruchzonen (Störzonen)?
5. Wie gross wird der Bergwasseranfall (maximal, dauerhaft)?
6. Welche Gebirgstemperaturen sind zu erwarten?
7. Welche Gefährdungsbilder sind mit welcher Wahrscheinlichkeit zu erwarten?
8. Wie verlässlich ist die geologische Prognose?
9. Wie kann die Verlässlichkeit der geologischen Prognose vor Baubeginn erhöht werden?

Erkundungsbohrungen als wichtige Grundlage für eine geologische Prognose bedeuten bei einem tief liegenden Tunnel im Hochgebirgsbereich einen sehr grossen Aufwand. Beim Gotthard-Basistunnel beträgt die Überlagerung in weiten Teilen mehr als 1000 m, Erkundungsbohrungen müssen entsprechend tief sein und erfordern schweres Bohrggerät. Die Oberfläche liegt zwischen 1500 m ü.M. und fast 3000 m ü.M (Abbildung 1).

Entsprechend schlecht zugänglich sind somit mögliche Bohrstellen, zudem ist dort das Zeitfenster für Bohrtätigkeiten auf wenige Sommermonate beschränkt. Die mit solchen (sub-) vertikalen Tiefbohrungen gewonnenen Erkenntnisse sind in der Regel aber nur für einen verhältnismässig kleinen Gebirgsbereich repräsentativ. Dies gilt im Besonderen, wenn die geologischen Haupteinheiten und –strukturen steil stehen (Abbildung 2), wie im Fall der nördlichen 37 km des Gotthard-Basistunnels. Deshalb wurden in den geologisch kritischsten Bereichen (Sedrun, Piora-Zone) auch schräge Bohrungen abgeteuft.

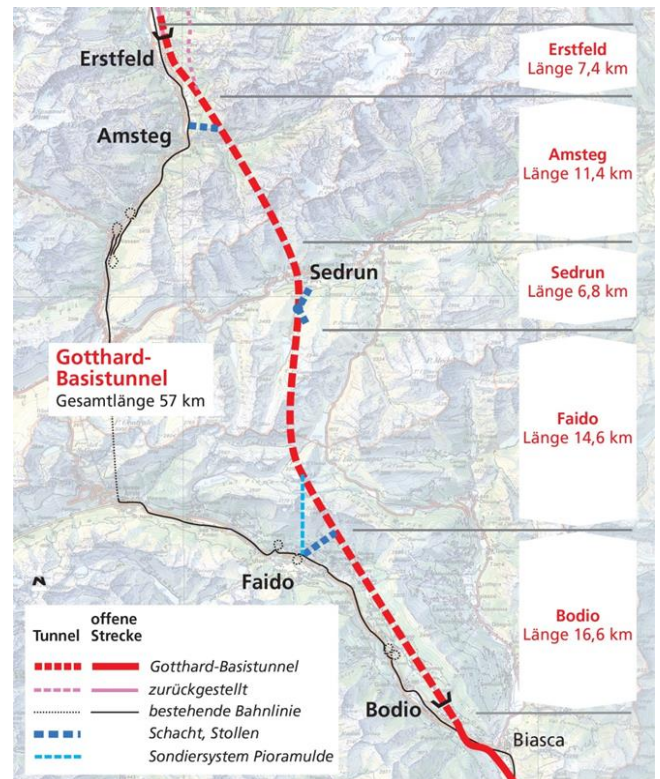


Abbildung 1: Situation Gotthard-Basistunnel mit SBB-Linie durch den Gotthard-Scheiteltunnel (© AlpTransit Gotthard AG)

Die Geologie im Gebiet des Aare-Massivs (AM), des Tavetscher Zwischenmassivs (TZM), des Gotthard-Massivs (GM) und der Penninischen Gneiszone (PGZ, Leventina) im Süden sind aus geologischen Kartierungen und Untersuchungen sowie aus einer Vielzahl von Tunnels und Kraftwerksstollen im AM, TZM und GM recht gut bekannt. Zudem wurden während der 1970er Jahre in einer frühen Erkundungsphase für einen Basistunnel einige wenige tiefe Erkundungsbohrungen ausgeführt. Schon bald kristallisierten sich zwei geologische Hauptproblemzonen heraus: Der tektonisch stark überprägte Kontaktbereich zwischen AM und TZM (TZM-Nord mit der sogenannten "Clavianev-Zone" unter Sedrun) sowie die Piora-Zone mit "zuckerkörnigem", also zersetztem Dolomit am Südrand des GM (Abbildung 2). Als Folge wurden diese Bereiche Mitte bis Ende der 1990er Jahre intensiv erkundet: Das TZM-Nord mit mehreren Schrägbohrungen, teils bis auf das

Niveau des Basistunnels, die Piora-Zone aus einem Karnensystem knapp südlich davon mit einer Vielzahl von Schrägbohrungen. Besonders im Fall der Piora-Zone konnte nach anfänglichen Hiobs-Botschaften (zuckerkörniger Dolomit 300 m über Tunnelniveau!) das geologische Risiko massiv verringert (festes Gestein und höchstens geringe Zuflüsse auf Tunnelniveau) und somit die Machbarkeit des gesamten Projekts nachgewiesen werden.

Was sind nun die Erkenntnisse aus dem gigantischen "Bohrkern" Gotthard-Basistunnel, noch dazu in paralleler Ausführung im Abstand von wenigen Zehnermetern? Der Befund der Geologie weicht insgesamt relativ wenig von der Prognose ab: Es wurden vorwiegend Gneise und granitähnliche Gesteine durchfahren, in die schmale Zonen von metamorph überprägten Sedimentgesteinen eingeschaltet sind. Diese stellen die

ehemalige Sedimentbedeckung der alten Kristallinsockel (AM, TZM, GM, PGZ) dar. Im Bereich des Teilabschnittes Amsteg (Abbildung 2) wurde im Tunnel ein bisher von der Oberfläche nicht bekannter Granitstock auf einer Länge von knapp 600 m angetroffen, der sogenannte Bristner Granit. Die aus überprägten Sedimenten bestehende Urseren-Garvera-Zone zwischen TZM und GM wurde 462 m weiter südlich angetroffen als erwartet. Im Süden des GM trat der Medelser Granit statt auf insgesamt 2.1 km auf mehr als 5.2 km Tunnelstrecke auf. In den beiden Schlüsselabschnitten wurden im Wesentlichen die prognostizierten Verhältnisse angetroffen: Das TZM-Nord wurde mit den erwarteten geotechnischen Schwierigkeiten im langsamen Sprengvortrieb mit aufwändigem Innenausbau durchörtert, die Piora-Zone ohne Wasserzutritte und Probleme durchfahren.

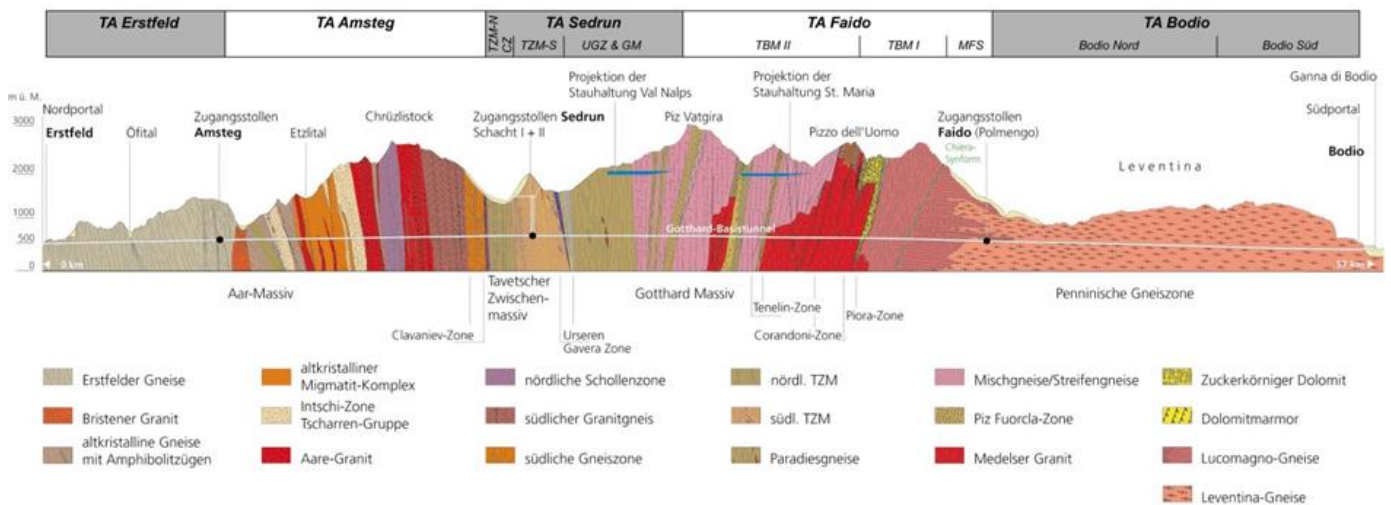


Abbildung 2: Geologisches Längsprofil entlang des Gotthard-Basistunnels (© AlpTransit Gotthard AG, ergänzt mit Baulosen)

Auch die angetroffenen geologischen Hauptstrukturen entsprachen zumindest im Grossen und Ganzen der Prognose. Folgende Abweichungen davon hatten teils grössere Auswirkungen auf den Vortrieb: Im GM wurde auf einer Länge von ca. 150 m eine nicht prognostizierte, flach liegende Störzone mit schlechten geotechnischen Eigenschaften angetroffen. Eine prognostizierte Grossfallenstruktur im Bereich der Penninischen Gneiszone, die Chièra-Snform, trat über 600 m weiter nördlich auf, so-

dass die Tunnelstrecke mit ungünstiger flacher Orientierung der Schieferung entsprechend länger war. Die Multifunktionsstelle Faido weist viele teils in spitzem Winkel zum Tunnel verlaufende Querstellen sowie grosse Tunnelquerschnitte auf. Die geologischen Verhältnisse waren schlechter als vorausgesagt, da viele Störzonen mit wenig festen Gesteinen eine ungünstige Raumlage bezüglich des Tunnels aufwiesen. Die Kombination aus anspruchsvollem Bauwerk und schlechten Gebirgsverhältnissen

führte zu einem erheblichen Mehraufwand. Im Teilabschnitt Bodio schliesslich erschwerte eine nicht prognostizierte flachliegende Störzone, welche sich über weite Strecken des Vortriebes mit Tunnelbohrmaschinen unmittelbar über dem Tunnel respektive in dessen Dachbereich („Firste“) befand, den Vortrieb massiv.

Die Gebirgstemperaturen wurden vor Baubeginn unter anderem auf Grundlage vorhandener Daten (Untertagebauwerke, wenige Bohrungen) mit einem numerischen Computermodell prognostiziert. Im Bereich der grössten Gebirgsüberlagerungen wurden auch die höchsten Temperaturen erwartet: Im AM ca. 38°C, im GM ca.42°C. Beim Vortrieb im AM zeigte sich bald, dass die Temperaturen mit ca. 44°C deutlich höher waren. Aus diesem Anlass wurde die Prognose 2005/2006 anhand der bis dahin im Vortrieb erhobenen Temperaturdaten revidiert. Für das GM wurden nun Gebirgstemperaturen im GBT von ca. 50°C vorausgesagt. Erreicht wurden aber nur ca. 43°C, womit die ursprüngliche Temperaturprognose sich im GM als besser zutreffend erwies. Entsprechend konnten vorgesehene Belüftungsmassnahmen im Tunnel (Kühlung) reduziert werden.

Die Prognose der Bergwasserzuflüsse basierte im Wesentlichen auf der Prognose der Störzonen, welche als wichtige Strukturen für die Bergwasserführung eingestuft wurden. In einzelnen Tunnelabschnitten, vor allem im Bereich des nördlichen Gotthard-Massivs, wurden grosse Bergwasserzuflüsse von teils über 100 l/s nach Antreffen von durchlässigen Störzonen erwartet. Die Gefahr von Störzonenzuflüssen wurde aber deutlich überschätzt. Im Abschnitt Erstfeld trat bei relativ geringer Gebirgsüberlagerung allerdings eine nicht prognostizierte Zone mit vielen Bergwasserzuflüssen auf, welche auch Jahre nach Durchörterung noch eine Schüttung von um 300 l/s aufweist. Über den gesamten Tunnel allerdings entsprechen sich Prognose und Befund der Summe aller anfänglichen

Schüttungen sowie die dauerhafte (stationäre) Schüttung erstaunlich gut.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die geologische Prognose in einem hohen Masse zutreffend war. Bei den Strukturen (Klüfte, Störzonen) und den geotechnischen Eigenschaften trifft dies nicht in allen Teilabschnitten im gleichen Masse zu. Angesichts der Erkundungsstrategie mit einigen gezielten Tiefbohrungen in Bereichen mit erkanntem hohem geologischem Risiko kann die Prognose als gut bewertet werden.

Die Prognose der Gebirgstemperaturen und der Bergwasserzuflüsse hingegen waren weniger zutreffend. Für erstere lagen praktisch keine Daten aus den Bereichen hoher Gebirgsüberlagerung zur Verfügung. Für die Prognose der Bergwasserzuflüsse stand zwar ein grosser Datensatz von Beobachtungen aus Untertagebauwerken im AM und GM zur Verfügung. Die massgeblichen hydraulischen Eigenschaften von Störzonen sind jedoch sehr heterogen verteilt und eine zutreffende Prognose für das Niveau des Gotthard-Basistunnels war schwierig. Diese Heterogenität der hydraulischen Eigenschaften kann auch anhand der beiden parallel verlaufenden „Bohrkerne“ der beiden Tunnelröhren veranschaulicht werden: Störzonen konnten zwar teilweise zwischen den beiden Röhren korreliert werden. Die Bergwasserführung unterschied sich dabei aber teilweise sehr deutlich.

Ausführliche und gut aufbereitete Informationen zur Geologie des Gotthard-Basistunnels finden sich im bald erscheinenden Geologischen Bericht des swisstopo, der am Gotthard-Basistunnel und Geologie Interessierten zur Lektüre empfohlen wird [1].

Referenzen

[1] Guntli P, Keller F, Lucchini R, Rust S. Gotthard-Basistunnel: Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie – zusammenfassender Schlussbericht. 2016: 180 Seiten, 5 Tafeln <http://www.toposhop.admin.ch/de/shop/products/publications/geology/reports/reportsPRT>

Impressum

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften

www.satw.ch

Juli 2016

Dieser Artikel entstand für die SATW Rubrik „Im Fokus“ zum Thema Gottardo 2016.

Gestaltung: Claudia Schärer

Bilder: AlpTransit Gotthard AG