

Die Absteckung des Gotthard-Bahntunnels vor 125 Jahren

Vergleiche mit heute

Die Absteckung des 57 km langen Gotthard-Basistunnels ab den Portalen Erstfeld und Bodio und den Zwischenangriffen Amsteg, Sedrun und Faido stellt noch heute hohe Anforderungen an alle beteiligten Vermessungsspezialisten. Dabei können wir auf qualitativ hochstehende Vermessungsgrundlagen wie Karten, Landesvermessung LV95 und LHN95 mit Geoid-Definition aufbauen. Wir besitzen mit unseren Messinstrumenten und Rechenmitteln effiziente Werkzeuge. Umsomehr bestaunen wir die ausserordentlichen Leistungen, die von den Geodäten vor 125 Jahren beim Bau des Gotthard-Bahntunnels erbracht wurden. Darüber finden wir Berichte in unterschiedlicher Betrachtungsweise im Buch von Felix Moeschlin «Wir durchbohren den Gotthard» und im Beitrag von Prof. Dr. F. Kobold «Die Absteckung des Gotthard-Bahntunnels», der in der Zeitschrift «Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik» 3/1982 publiziert wurde.

Le piquetage du tunnel de base du St-Gotthard, long de 57 kilomètres, à partir des portails d'Erstfeld et de Bodio et des attaques intermédiaires d'Amsteg, Sedrun et Faido, représente, encore aujourd'hui, une très haute exigence pour tous les spécialistes impliqués dans la mensuration. A cet effet, nous pouvons compter sur des bases de mensuration de très haute qualité, telles que cartes, mensuration nationale MN95 et RAN95 sur la base de la définition du géoïde. Avec nos instruments de mesure et nos moyens de calcul, nous disposons d'outils efficaces. D'autant plus admirons-nous les performances extraordinaires accomplies par les géomètres il y a 125 ans lors de la construction du tunnel ferroviaire du St-Gotthard. A ce sujet, nous pouvons lire les différents points de vue dans le livre de Felix Moeschlin «Nous perçons le St-Gotthard» et dans l'article rédigé par le Prof. Dr. F. Kobold pour le journal «Mensuration, Photogrammétrie et Génie Rural» 3/1982, intitulé «Le piquetage du tunnel ferroviaire du St-Gotthard».

Il tracciamento dei 57 km della galleria di base del Gottardo, a partire dal portale di Erstfeld e da quello di Bodio, nonché dagli attacchi intermedi di Amsteg, Sedrun e Faido, presenta ancora oggi elevate esigenze a tutti gli specialisti coinvolti. Al riguardo, ci si appoggia su basi di misurazioni qualitativamente elevate come le carte, la misurazione nazionale LV95 e LHN95 con definizione del geoido. I nostri strumenti di misurazione e i nostri mezzi di calcolo costituiscono dei presupposti efficienti. Proprio per questo ammiriamo le straordinarie prestazioni fornite 125 anni fa dai geodeti, al momento della costruzione della galleria ferroviaria del Gottardo. Inoltre, è pure possibile trovare approcci diversi nel libro di Felix Moeschlin «Perforiamo il Gottardo» e nell'articolo del Prof. Dott. F. Kobold «Il tracciamento della galleria ferroviaria del Gottardo», pubblicato sulla rivista «Misurazione, fotogrammetria e genio rurale» 3/82.

F. Ebnetter

Die folgenden Gegenüberstellungen zeigen, dass viele Grundsätze der damaligen Tunnelabsteckung noch heute gelten. Die vor 125 Jahren erreichten Genauigkeiten werden auch heute nicht wesentlich unterschritten. Den Massnahmen zur Risikominimierung wurde schon damals eine hohe Bedeutung zugemessen. Was wir uns weniger vorstellen können, sind die Umstände, unter denen damals diese Messungen durchgeführt werden mussten: Transport- und Kommunikationsmittel für Messungen an der Oberfläche und im Tunnel, lange Arbeitszeiten und mangelhafte Sicherheitsmassnahmen im Tunnelvortrieb verlangten viel Pioniergeist von den beteiligten Geodäten. Heute profitieren wir von wesentlich komfortableren Voraussetzungen.

Das oberirdische Grundlagennetz Lage

Nachdem die Axpunkte (Portale) in Göschenen und Airolo festgelegt waren, rekonozsierte und beobachtete der mit den Vermessungsarbeiten beauftragte Ingenieur Otto Gelpke 1869 das die beiden Portale verbindende Triangulationsnetz. Er mass auf seinen Netzpunkten auf den Gipfeln am Gotthard bei teilweise widrigen meteorologischen Bedingungen immer alle drei Winkel in den Dreiecken, normalerweise mittels 24-maliger Repetition. Weil für den Netzmassstab zu diesem Zeitpunkt keine geeigneten Anschlussmöglichkeiten vorhanden waren, mass Gelpke ebenfalls 1869 auf der Ebene von Andermatt mit Stahlbändern eine Basis. Mit dem Anschluss dieser Basis in sein Triangulationsnetz war der für die Absteckung des schnurgeraden Gotthard-Bahntunnels eher unbedeutende Massstab gegeben.

Die Berechnung des Netzes erfolgte ohne Ausgleich nach der Methode der kleinsten Quadrate. Lediglich die Dreiecksschlussfehler konnten verteilt werden. Der sphärische Exzess wurde bei der



Abb. 1: Die Vermesser am Gotthard-Bahntunnel.

Berechnung nicht berücksichtigt. Als Ergebnis lagen Koordinaten aller Triangulationspunkte und der Axpunkte von Göschenen und Airolo vor, aus denen die Axrichtung berechnet werden konnte. Nach einer Verschiebung des Portals in Airolo und zur Reduktion des Risikos, dass die beiden Vortriebe von Norden und Süden nicht zusammentreffen, wurde 1872 der junge Carl Koppe von der Bauleitung mit dem Aufbau, der Messung und Berechnung eines vom Netz Gelpke vollständig unabhängigen Triangulationsnetzes beauftragt. Die Basis in Andermatt wurde mit geeichten Holzplatten neu gemessen. Koppe führte mit einem neuen, für diesen Zweck von Kern-Aarau gebauten Nonientheodolit Satzmessungen durch. Er erwarb sich mittels Studienurlaub in Berlin die Kenntnisse der Methode der kleinsten Quadrate und wendete diese erstmals in der Schweiz in seiner Netzberechnung an. Er berücksichtigte auch die Korrekturen des sphärischen Exzesses. Er konnte so auch Angaben über die Genauigkeiten seines Netzes und die Axrichtungen in Göschenen und Airolo machen:

m_F ausgeglichene Richtung im Netz (ohne Berücksichtigung der Lotabweichung)	± 0.31 mgon
m_F Absteckungsrichtung in Göschenen	± 0.31 mgon
m_F Absteckungsrichtung in Airolo	± 0.36 mgon

Mit zusätzlichen Messungen wurden die beiden Netze von Gelpke und Koppe miteinander verbunden und die Absteckungsrichtungen gegenseitig verglichen. Die Differenzen betragen für Göschenen lediglich 0.15 mgon und für Airolo 0.22 mgon. Damit war diese Kontrolle gelungen.

Heute:

Für das Grundlagennetz zum Gotthard-Basistunnel konnte 1995 auf das gleichzeitig erstellte Netz LV95 der Landesvermessung aufgebaut werden. Die zusätz-

lichen Punkte in den Portalbereichen konnten mit GPS-Messungen und ergänzenden Richtungs- und Distanzmessungen mit hoher Qualität in LV95 integriert werden.

Das Grundlagennetz für die Höhe

1869 beschloss das Gotthard-Comitee, der schweizerischen Geodätischen Kommission den Auftrag für die vorzeitige Erstellung der Linie über den Gotthard des «Nivellement de précision» zu erteilen. Noch im gleichen Jahr wurde dieses Nivellement von Süden nach Norden gemessen. Gelpke entschloss sich dann ebenfalls 1869, mit seiner Triangulation auch die Höhenwinkel zu messen. Bei der Berechnung ergab sich bei einer Differenz von 9.7 cm zwischen Nivellement und trigonometrischer Höhenübertragung eine hohe Übereinstimmung. Auch Koppe führte mit seiner Triangulation gegenseitige Zenitdistanzmessungen zur Überprüfung des Nivellements durch. Sein Ergebnis deckt sich mit jenem von Gelpke. Gelpke hat sich auch mit der Problematik des Refraktionskoeffizienten im Hochgebirge auseinandergesetzt. Zum Thema Lotab-



Abb. 2: Warten auf bessere Sichtverhältnisse im oberirdischen Triangulationsnetz (R. Ritz um 1880).



Abb. 3: Bohrarbeiten am Gotthard-Bahntunnel.

weichung meinte er, dass «eine solche nicht stattfindet, weil die Gipfelmassen zu beiden Seiten des Passes zu unbedeutend seien gegenüber der Anziehung der ganzen Gebirgsmasse».

Heute:

Ebenfalls, wie 1869, wurden die Verbindungen zwischen den Portalen und Zwischenangriffen koordiniert mit dem Landesnivellement gemessen und zusammen mit LHN95 ausgeglichen. Auf trigonometrische Höhenbestimmungen oder Höhenmessungen mit GPS wurde beim Grundlagennetz verzichtet.

Vorbereitung der Tunnelabsteckung

Die Überprüfung der Axrichtung in Göschenen und Airolo, hergeleitet aus den beiden Netzen von Gelpke und Koppe genügte der Bauleitung und wahrscheinlich auch den Geodäten nicht. Mit einer zweiten Kontrolle wurde 1875 die Tunnelaxe oberirdisch von beiden Seiten her ins Gelände übertragen. Koppe erklärte Escher: «Die Stangen der beiden Tunnelrichtungen haben sich in der Mitte auf

dem Kastelhorn mit der Abweichung von kaum einem Dezimeter getroffen.» Im gleichen Jahr wurden als dritte Kontrolle in Göschenen und Airolo nach der Polarismethode die astronomischen Azimute der Tunnelaxe und nach der Zirkummeridianmethode an beiden Portalen die Breiten bestimmt. Aus den zwei Breiten und dem Azimut in Göschenen konn-

te Koppe das Azimut in Airolo berechnen. Der Unterschied zwischen dem berechneten Azimut und der abgesteckten Stollenaxe betrug nur 0.48 mgon. Eine gute Übereinstimmung wenn man – wie auch von Koppe festgestellt – beachtet, dass bei diesen Berechnungen keine Lotabweichungen berücksichtigt wurden.

Heute:

2005 wurden auch im Netz des Gotthard-Basistunnels die gegenseitigen Orientierungen der Portalnetze mittels astronomischen Azimutbestimmungen überprüft. Die zu erwartenden Durchschlagsfehler werden nicht mit oberirdischen Absteckungen, sondern mittels à priori Berechnungen überprüft.

Tunnelabsteckung während dem Vortrieb

Die vermessungstechnischen Möglichkeiten erlaubten beim Bau des Gotthard-Bahntunnels lediglich die Absteckung eines geraden Tunnels mittels Alignements. Im Portalbereich Airolo, wo ein erstes Tunnelstück im Bogen liegt, musste für die Absteckung als Verlängerung der Tunnelgeraden ein Richtstollen gebaut werden. Die Bauleitung hatte sich verpflichtet,

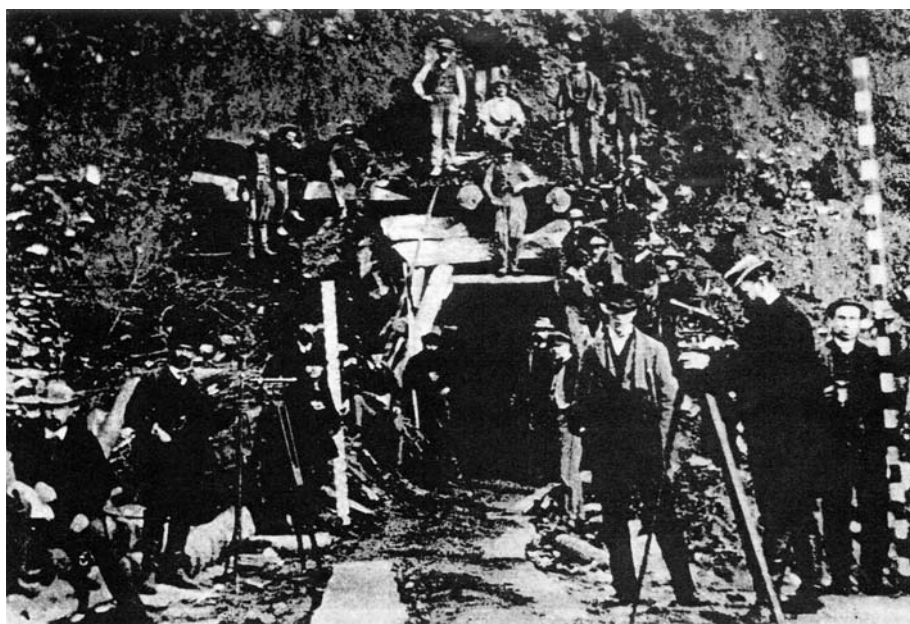


Abb. 4: Vermessungsingenieure vor dem Richtstollen Airolo.

dem Unternehmer Favre in Abständen von zwei Kilometern in der Axe liegende Punkte zu bestimmen, auf die sich der Unternehmer für die Absteckung des Vortriebs stützen konnte. Für diese Hauptabsteckung wurden an beiden Portalen auf der verlängerten Tunnelaxe Observatorien erstellt. Die Tunnelrichtung wurde von speziell eingerichteten und ins Triangulationsnetz eingemessenen Visieren übernommen. In Göschenen mussten für die Sicht auf diese Visiere extra Visierstollen ausgebrochen werden. Bei der Messung wird der Theodolit auf die Visiere eingestellt und anschliessend das Fernrohr durchgeschlagen. Dann werden beleuchtete Zielmarken in diese Richtung eingewiesen. Die vorgesehenen Visurweiten von zwei Kilometern waren wegen Staub, Rauch, Russ und Wasser wesentlich kürzer. Die Kommunikation zwischen den Messstandorten war ein grosses Problem. Eine Erleichterung wurde erst mit der Einführung von Telegraphen erreicht.

Für die Messeinsätze mussten Einbauten wie Gerüste und Lehrbogen entfernt werden. Die Tunnelarbeiten wurden während diesen Kampagnen tagelang massiv behindert und Favres Unternehmung brachte dafür wenig Verständnis auf.

Heute:

Aus Sicht der Absteckbarkeit gibt es praktisch keine Einschränkungen mehr bei der Wahl der Tunnelgeometrie. In Sedrun wird die Axe des Gotthard-Basistunnels ab dem Aussennetz über einen Zugangstollen und anschliessend durch einen 800 m tiefen Senkrechtschacht übertragen.

Beim GBT erhält der Unternehmer im Abstand von 420 m Hauptabsteckungspunkte, wobei der vorderste Punkt nicht mehr als 1300 m hinter der Stollenbrust liegen darf. Die Absteckung erfolgt nicht mehr mit Alignements, sondern mittels



Abb. 5: Die Vermesser am Gotthard-Basistunnel 2006.

übergreifenden Polygonzügen, die systematisch mit Kreiselmessungen gestützt und kontrolliert werden.

Bei der Organisation der Vermessungsarbeiten wird darauf geachtet, dass Störungen des Baubetriebes durch die Vermessung möglichst klein gehalten werden. Die grossen Messkampagnen finden in der Regel während geplanten Unterbrüchen (Weihnachten, Ostern, Sommerferien) statt. Kleine Kontrollen werden während den Unterhaltsschichten ausgeführt.

Zum Schluss

Trotz aller Fortschritte der Ingenieurvermessung in den vergangenen 125 Jahren gibt es keinen Durchschlagsfehler Null. Unvermeidbare zufällige Messfehler, geringste Unaufmerksamkeiten, Unterlassungen oder nicht entdeckte systematische Fehler führen auch heute noch sehr rasch zu unliebsamem Abdriften von der Ideallinie.

Der heute mögliche Genauigkeitsgewinn und die ausgewiesene Steigerung der Zu-

verlässigkeit der Tunnelabsteckung verleiten im Tunnel-Normalprofil zur Reduktion der Freiräume für die Aufnahme von Vermessungsfehlern. So wird beispielsweise im TBM-Vortrieb des GBT ca. 100 m hinter der Tunnelbrust die Sohle eingebaut. Diese Sohle muss gegenüber der definitiven Gleislage, abgesteckt aus dem ausgeglichenen Polygonnetz nach erfolgtem Durchschlag, in Höhe mit einer Bautoleranz von 20 mm und in Querrichtung von wenigen cm genau eingebaut werden.

So lastet auch heute, 125 Jahre nach dem Bau des Gotthard-Bahntunnels, auf den Vermessern am 57 km langen Gotthard-Basistunnel eine hohe Verantwortung.

Franz Ebnetter
 Leiter Vermessung/Datenkoordination
 AlpTransit Gotthard AG
 Zentralstrasse 5
 CH-6003 Luzern
 franz.ebnetter@alptransit.ch