

Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und
Landmanagement

Band: 104 (2006)

Heft: 6: Geomatiktage Luzern = Journées de la géomatique Lucerne

Artikel: Herausforderungen bei der Absteckung des Gotthard-Basistunnels

Autor: Schätti, Ivo

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-236331>

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: 01.04.2025

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

Herausforderungen bei der Absteckung des Gotthard-Basistunnels

Die Absteckung des Gotthard-Basistunnels ist eine spannende und verantwortungsvolle Aufgabe. Vor über zehn Jahren hat das beauftragte Vermessungskonsortium mit den Arbeiten begonnen und mit dem Grundlagennetz die Basis für die erfolgreiche Absteckung des Jahrhundertbauwerks geschaffen. Mit grosser Spannung wird jetzt von den Vermessern der erste Durchschlag im Projekt im Sommer 2006 erwartet.

Le piquetage du tunnel de base du St-Gotthard est une tâche fascinante et à haute responsabilité. Il y a plus de dix ans, le consortium de mensuration mandataire a commencé les travaux et a créé, avec le réseau de base, l'ossature pour le piquetage réussi de cet ouvrage séculaire. Les arpenteurs attendent maintenant avec impatience le premier percement du tunnel en été 2006.

Il tracciamento della galleria di base del Gottardo rappresenta un compito appassionante e di grande responsabilità. Il consorzio incaricato delle misurazioni ha iniziato a lavorare dieci anni fa e con la rete dei punti fissi di riferimento è riuscito a creare il presupposto per un tracciamento coronato da successo di quest'opera monumentale. Gli specialisti in misurazioni aspettano con trepidazione il primo sfioramento nell'estate 2006.

I. Schätti

1. Aufgabenstellung und Ausgangslage

Wenn im Sommer 2006 die Tunnelbohrmaschinen von Bodio in der Multifunktionsstelle Faïdo eintreffen und die letzten Meter der 17 km langen Strecke durchbrechen, dann wird sich zeigen, ob die Arbeit der Vermesser in den letzten zehn Jahren zum Ziel geführt hat. Erst beim Durchschlag sieht der Tunnelvermesser die Qualität seiner Arbeit und die Richtigkeit seiner Modelle und Annahmen. Der erste Durchschlag im Projekt Alp-Transit Gotthard-Basistunnel wird daher vor allem auch vom beauftragten Vermessungskonsortium Vermessung Gotthard-Basistunnel (VI-GBT) mit grosser Spannung erwartet.

Das Konsortium VI-GBT ist von der Alp-Transit Gotthard AG mit der bauherrenseitigen Vermessung für den Basistunnel von Erstfeld bis Bodio beauftragt. Die Kernaufgabe besteht in der Kontrolle aller Vortriebe des 57 km langen Bauwerks.

Diese Kontrolle erfolgt im Wesentlichen durch die hochpräzise Bestimmung der Vermessungshauptpunkte in Lage und Höhe. Diese Punkte dienen dem Vermesser des Bauunternehmers für die tägliche Steuerung des Vortriebs oder der Absteckung des Gewölbes resp. der Sohle. Neben der Vortriebskontrolle gehört aber auch die Kontrolle des erstellten Bauwerks oder die Überwachung des Bauwerks auf Deformationen zu den Aufgaben des Bauherrenvermessers.

2. Geodätische Grundlagenvermessung

Bedenkt man, dass die Hauptvortriebe des Gotthard-Basistunnels parallel von zwei Portalen und drei Zwischenangriffen aus erfolgen, wird offensichtlich, dass der Grundlagenvermessung eine sehr grosse Bedeutung zukommt. Bereits 1995 wurde ein oberirdisches Vermessungsnetz mit ca. 40 Punkten etabliert, die in stabilen geologischen Schichten dauerhaft vermarktet wurden. Diese Haupt-Vermessungspunkte wurden mit GPS mit einer



Abb.1: Pfeiler Grundlagennetz in Bodio.

Relativ-Genauigkeit von < 10 mm bestimmt.

Der Höhenbezugsrahmen wurde ausgehend vom schweizerischen Landesnivellementnetz mit Ergänzungsmessungen in den Portalbereichen realisiert. Diese Ergänzungen wurden 1996 in Zusammenarbeit des Konsortiums VI-GBT mit dem Bundesamt für Landestopografie gemessen und ausgewertet und stellen in Form einer Netzverdichtung den Bezug zwischen Landesnetz und Werknetz dar. Im Bereich der Portale wurde das GBT-Grundlagennetz mit elektrooptischen Richtungs- und Distanzmessungen verdichtet. Primäres Ziel dieser Teilaufgabe ist es, Massstab und Orientierung des oberirdischen Grundlagennetzes mit minimalem Genauigkeitsverlust durch die Portalzonen «nach untertage», also in den Berg zu übertragen. Die zentrale Bedeutung dieser Teilaufgabe wird in der Praxis meist unterschätzt und «Genauigkeit» wird sehr oft den engen Platzverhältnissen und eingeschränkten Visuren in den Portalbereichen geopfert.

Für die Tunnelvermessung ist natürlich die Netzorientierung von zentraler Bedeutung. Aus diesem Grund wurden bei allen Hauptangriffen mit astronomischen Beobachtungsmethoden hochgenaue Azimute und Lotrichtungen (also die Richtung der Schwerkraft) gemessen. Im Sommer 2005 wurde die Messung des oberirdischen Grundlagennetzes mit einer um zehn Jahre weiterentwickelten GPS-Technologie vollständig wiederholt.



Abb. 2: Stollenkontrolle im Vortrieb Nord West in Sedrun.

Die Ergebnisse zeigen, dass die erreichten Genauigkeiten in der Grössenordnung von effektiv erfolgten Punktverschiebungen z.B. auf Grund rezenter Krustenbewegungen oder auf Grund der andauernden Alpenhebung liegen (ca. 1 mm/Jahr).

3. Vortriebsvermessung

3.1 Genauigkeitsanforderungen

Hauptaufgabe des Vermessers beim Tunnelbau ist wie eh und je die baubegleitende Absteckung des Tunnels untertage, also im Wesentlichen die Angabe der Vortriebsrichtung an der Ortsbrust. Im Projekt Gotthard-Basistunnel liegen die Genauigkeitsanforderungen bei 10 cm (1σ) quer zur Tunnelachse und 5 cm (1σ) in der Höhe. Wie in der Messtechnik üblich, sind diese Genauigkeitsangaben als einfache Standardabweichungen (1σ) im statistischen Sinne definiert. Für den Bau von grösserer Relevanz ist die Toleranz im Sinne eines maximal zulässigen Fehlers. Im Projekt GBT wurde die Toleranz als 2.5-facher Betrag der einfachen Standardabweichung (2.5σ) definiert. Faktisch beträgt damit ein durch die Vermessung bedingter maximal zulässiger Durchschlagsfehler 25 cm (quer zur Tunnelachse) und 12.5 cm (in der Höhe). Oder: Die Genauigkeitsanforderung liegt bei 1 mm

pro 100 m bei einer Tunnellänge von 25 km. Das bedeutet, dass die Vortriebe im Gotthard-Basistunnel mit der Präzision eines Scharfschützen erfolgen müssen.

3.2 Grundlagenvermessung untertage

Die Messeinrichtungen untertage werden baubegleitend als Präzisionspolygonzüge oder polygonartige Netzwerke realisiert. Eine Standardlösung für die Anlage von

Vermessungsnetzen untertage gibt es nicht. Es bleibt schliesslich immer dem zuständigen Vermessungsingenieur überlassen, welches Konzept er unter Berücksichtigung der bauseitig vorgegebenen Randbedingungen verfolgt. Alle Lösungen haben jedoch eines gemeinsam: Auf Grund des einseitigen Anschlusses am Portal und wegen der sehr ungünstigen Fehlerfortpflanzung nimmt mit zunehmender Tunnellänge die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Koordinaten untertage ab. Besonders kritisch sind Störeinflüsse, die zu einseitigen, systematischen Verfälschungen von Messungen führen. Besonders gefährlich sind die Effekte der Seitenrefraktion, bei der die optische Visur auf Grund starker Temperaturgradienten einseitig gebrochen werden. Die Vermessungsvisur folgt in diesem Fall einer gekrümmten Linie anstatt einer Geraden und die zugehörige Richtungsmessung kann um ein Vielfaches der Messgenauigkeit verfälscht werden. Magnetismus, lokale Schwereanomalien oder elektromagnetische Felder sind andere potenzielle Ursachen systematischer Fehler.

3.3 Präzisionsvermessungskreisell

Da die systematischen Fehler oft in der Grössenordnung von zufälligen Fehlern



Abb. 3: Präzisionsvermessungskreisell Gyromat 2000 im Einsatz in Bodio.



Abb. 4: Optische Lotung im Schacht 2 in Sedrun.

(bzw. der effektiven Messgenauigkeit) liegen, müssen sie bei langen Tunneln (> 10 km) mit einem Messverfahren aufgedeckt werden, das auf einem anderen physikalischen Prinzip basiert. Als Lösung für dieses Problem kommen nordweisende mechanische Kreisel in Frage, die ihre Drehachse auf Grund des physikalischen Gesetzes der Präzession auf die Rotationsachse der Erde ausrichten. Damit ist es möglich, an einer beliebigen Stelle untertage das Azimut zwischen zwei Vermessungspunkten mit hinreichender Genauigkeit (≈ 0.0015 gon) zu kontrollieren. Das Driftverhalten des Kreisels, sein spezielles Temperaturverhalten und seine Beeinflussung durch die lokalen Schwereanomalien müssen allerdings berücksichtigt werden.

3.4 Lotung im Vertikalschacht Sedrun

Da im Zwischenangriff Sedrun die Vortriebe nach Norden und Süden vom Fusse eines 800 m tiefen Vertikalschachtes gestartet werden, müssen Lage, Höhe und Orientierung durch den Vertikalschacht übertragen werden. Dies geschieht durch Kombination eines optischen und eines mechanischen Lotverfahrens. Bei der mechanischen Lotung wird

Schwingung mehrerer Stahldrähte beobachtet, die mit bis zu 400 kg schweren Gewichten versehen sind. Die Ermittlung der Schwingungsmittellage (als Mittelpunkt einer Ellipse) und der mathematische Ähnlichkeitsvergleich der Lotanordnung am Schachtkopf und Schachtfuss erlaubt die Lotung mit einer Präzision von < 10 mm.



Abb. 5: Betonierete Sohle mit Baugelaise in Amsteg.

4. Kontrolle des erstellten Bauwerks

Neben der Hauptaufgabe, der Kontrolle des Vortriebs, sind aber noch eine Reihe weiterer Kontrollen und Messungen notwendig, damit sicher gestellt ist, dass der Tunnel auch am richtigen Ort gebaut wird. In allen Abschnitten wird systematisch im Abstand von 20 m die betonierete Sohle in Lage und Höhe kontrolliert. Ebenfalls ist vorgesehen, das Bankett kontinuierlich nach dem Einbau auf die Einhaltung der Bautoleranzen zu kontrollieren. Auch das Gewölbeprofil wird während den verschiedenen Bauetappen (Ausbruch, 1. Sicherung, Abdichtungsuntergrund, Innengewölbe) systematisch kontrolliert.

Mit Ausnahme der Kontrolle des Abdichtungsuntergrunds handelt es sich bei allen Kontrollen um exakt definierte Einzelpunkte. Die Aufnahme erfolgt mittels Tachymeter. Bei der Kontrolle des Abdichtungsuntergrunds interessiert in erster Linie die Ebenheit der Fläche. Daher kommt bei dieser Kontrolle ein Flächen-scanner zum Einsatz.

Da in der Tunnelvermessung die Koordinaten mit jeder zusätzlichen Vermessung bis zur Durchschlagsvermessung noch ändern, ist es wichtig, die Koordinaten mit

einem Zeitstempel zu versehen. Unter Umständen kann es notwendig sein, eine schon ausgewertete Kontrolle mit den aktualisierten Koordinaten nochmals neu zu rechnen.

5. Ausblick

Die Tunnelvermessung bietet für einen Vermesser nach wie vor die grössten Herausforderungen überhaupt. Speziell bei dieser Aufgabe ist die Tatsache, dass erst zum Zeitpunkt des Durchschlages festzustellen ist, ob Konzept, Planung und Realisierung der gesamten Arbeit, die zum Teil über mehrere Jahre hinweg geleistet wurde, korrekt und erfolgreich war oder nicht. Die Anforderungen im Tunnelbau sind sehr hoch, insbesondere auch für die verantwortlichen Vermessungsfachleute. Gefordert sind maximale Genauigkeit und Zuverlässigkeit, die im Grunde genommen nur unter Laborbedingungen erreichbar sind. Tatsache aber ist, dass die Vermessungsarbeiten untertage stets unter erschwerten Bedingungen durchgeführt werden müssen. Neben permanentem Zeitdruck sind ungünstige klimatische Bedingungen (Sicht, Licht, Lärm, Temperatur, Lüftung, Verkehr usw.) sowie logistisch oder sicherheitsbedingte Randbedingungen die Regel.

Literatur:

Schätti, I.; Ryf, A. [2004]: Hochpräzise Lotung im Schacht Sedrun des Gotthard-Basistunnels, Geomatik Schweiz 7/2004.

Ebnetter, F. [2004]: AlpTransit Gotthard: Aufgaben und Organisation der Vermessung. XIV. Kurs für Ingenieurvermessung, Zürich. Herausgeber: H. Ingensand, geomETH, Zürich.

Stengele, R. [2004]: Geodätische Grundlagen für den Gotthard-Basistunnel. XIV. Kurs für Ingenieurvermessung, Zürich. Herausgeber: H. Ingensand, geomETH, Zürich.

Schätti, I.; Ryf, A. [2004]: Hochpräzise Lotung im Schacht Sedrun des Gotthard-Basistunnels. XIV. Kurs für Ingenieurvermessung, Zürich. Herausgeber: H. Ingensand, geomETH, Zürich.

Wagner, C. [2003]: Mehrgewichtslotung im Schacht Sedrun – Einsatz beim Projekt Gotthard-Basistunnel. Wissenschaftliche Schriftenreihe im Markscheidewesen, Heft Nr. 19. Herausgeber: Deutscher Markscheider-Verein e.V., Herne.

Marti, U. [2002]: Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz LV95. Teil 10: Das Geoid der Schweiz 1998 «CHGEO98». Bericht 16, swisstopo – Bundesamt für Landestopografie, Bern.

Ryf, A.; Haag, R.; Schätti, I. [2000]: AlpTransit Gotthard-Basistunnel: Aktueller Projektstand, ingeniergeodätische Aspekte. XIII. Kurs für Ingenieurvermessung, München. Herausgeber: Schnädelbach, Schlicher, Wittwer Verlag, Stuttgart.

Ivo Schätti
Grünenfelder und Partner AG
Denter Tumas 6
CH-7013 Domat/Ems
ivo.schaetti@gruenenfelder.ch

S&W

Communication everywhere

MOTOROLA



MOTCOM
Communication

Motcom Communication AG
Max-Högger-Strasse 2, CH-8048 Zürich
Tel. 044 437 97 97, Fax 044 437 97 99

www.motcom.ch