

Hochpräzise Lotung im Schacht Sedrun des Gotthard-Basistunnels

Ivo Schätti, Konsortium VI-GBT
Adrian Ryf, ETH Zürich

Zusammenfassung: Im Zwischenangriff Sedrun des 57 km langen Gotthard-Basistunnels des Projektes AlpTransit erfolgen die Vortriebsarbeiten nach Norden und Süden vom Fuss eines 800 m tiefen Schachtes aus. Die Positionsübertragung von der Kaverne am Schachtkopf hinunter auf das Tunnelniveau wird von den Vermessungsfachleuten mit zwei unterschiedlichen Methoden, einmal optisch und einmal mechanisch realisiert. Der vorliegende Bericht beschreibt die erste Lotung vom Frühjahr 2002, dokumentiert die erreichten Genauigkeiten und gibt einen Ausblick auf die weiteren geplanten Lotungen.

1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Der 57 km lange Gotthard-Basistunnel des Projektes AlpTransit wird von fünf Orten aus gleichzeitig vorgetrieben. Der Zwischenangriff Sedrun liegt mitten in den Alpen im bündnerischen Vorderrheintal. Ein Zugangsstollen führt 1 km weit ins Bergesinnere, wo von einer riesigen Kaverne aus der 800 m tiefe Schacht (Durchmesser 8 m) auf das zukünftige Tunnelniveau hinunter abgeteuft wurde. Zur Zeit (Winter 2003/04) wird die unterirdische Multifunktionsstelle ausgebrochen, welche Lüftungsinstallationen, Technikräume und Nothaltestellen umfassen wird.

Messtechnisch stellt der Schacht Sedrun einige Anforderungen an die Fachleute. Dreidimensional müssen die Koordinaten, die Orientierung und der Netzmassstab übertragen werden. Oberstes Ziel ist der Einsatz unabhängiger Präzisionsmessmethoden, um systematische Fehler auszuschliessen und die bestmögliche Genauigkeit zu erreichen. Im vorliegenden Bericht wird einer der Vermessungsaspekte, nämlich die Positionsübertragung beschrieben.

Die für den Gotthard-Basistunnel gesamthaft durchgeführte Präanalyse des Vortriebsnetzes ergab für eine Koordinatendifferenz zwischen Schachtkopf und -fuss eine Genauigkeitsanforderung von 24 mm. Zur Erfüllung der Zuverlässigkeitsforderungen drängte sich die Durchführung der Lotung mit zwei möglichst

unabhängigen Messmethoden, nämlich optisch und mechanisch, schon früh auf. Im Frühjahr 2002 konnte an einem Wochenende eine erste Lotung mit beiden Methoden realisiert werden.

Mit der Gesamtverantwortung für die Planung und Durchführung aller vermessungstechnischen Arbeiten für den Gotthard-Basistunnel wurde das Konsortium VI-GBT (Vermessungsingenieure Gotthard-Basistunnel) beauftragt. Die Organisation und Realisation der Lotung in Sedrun erfolgte durch den Konsortialpartner Grünenfelder und Partner AG. Die Professur Ingensand der ETH Zürich unterstützte das Konsortium bei der optischen Lotung, die DBE Erkundungsbergwerk Gorleben führte mit ihrem Material die mechanische Lotung durch.

2 Optische Lotung

Die optische Lotung von oben nach unten erfolgte mit einem Leica-Nadirlot (Auflösung 1:200'000), siehe Abb.1. Zur Steigerung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit wurden drei Lotkorridore gemessen, wobei sich die Anordnung nach den vorhandenen Schachtinstallationen richtete. Der Abstand vom Schachtrand betrug zwischen 1.60 m und 3.80 m, das Lotgerät wurde auf Stativen positioniert.

Während der Lotung und bereits mehrere Stunden vorher wurde die Belüftung so eingestellt, dass im Schacht „Fallluft“ herrschte, das heisst, am Schachtfuss wurde die Luft abgesaugt und durch die Lutten ins Freie geleitet, die Frischluftzufuhr von oben befreite den Schacht von jeglichem Nebel und erlaubte eine klare Sicht von oben nach unten. Ständige Wassertropfen verunmöglichten allerdings eine Zenitlotung im Schacht sowohl mit dem Zenitlot, als auch mit dem Tachymeter (mit und ohne automatische Zielerkennung).



Abb. 1: Nadirlot am Schachtkopf



Abb.2: Positionierung der Stative am Schachtfuss

Auf den am Schachtfuss mit Näherungskoordinaten abgesteckten Lotpunkten dienten Prismen mit zentrischen Leuchtdioden als Zielmarken. Die exakte Feinpositionierung auf den Stativen erfolgte mit Kreuzschlitten (Zweiachs-Verschiebetischen), siehe Abb. 2.

In vier Lagen wurden jeweils die Abweichungen beobachtet, die Solllage bestimmt und per Funk die Korrekturen zum Operateur am Schachtfuss durchgegeben. Nach ca. 5 Durchgängen war die beste Position erreicht. Die Stative wurden am Schachtfuss und am Schachtkopf von drei Stationen aus mit Einbezug der Fixpunkte eingemessen. Anschliessend folgte eine zweite unabhängige Positionierung mit identischem Vorgehen.

3 Mechanische Lotung

Auch die mechanische Lotung wurde über drei Korridore geführt. Die Installation der Winden, der Umlenkrollen und das Einfahren der Lotdrähte erforderte fast einen ganzen Arbeitstag. Die Installation endete mit dem Auflegen der Gewichte, welche pro Lot ca. 390 kg betragen. Nach einer Ruhephase der Lote von ca. 12 h konnten die Messungen am folgenden Morgen aufgenommen werden. Von zwei Stationen aus wurden mit je einem Theodolit jeweils 10 Umkehrpunkte der drei pendelnden Lote in beiden Fernrohrlagen gemessen. Die zweite Messreihe erfolgte nach einer Reduktion der Gewichte auf ca. 192 kg, die dritte wiederum mit 390 kg.

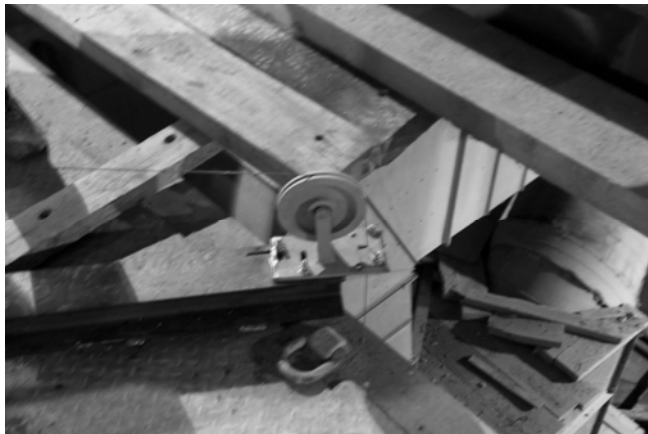


Abb. 3: Umlenkrolle mit Lotdraht

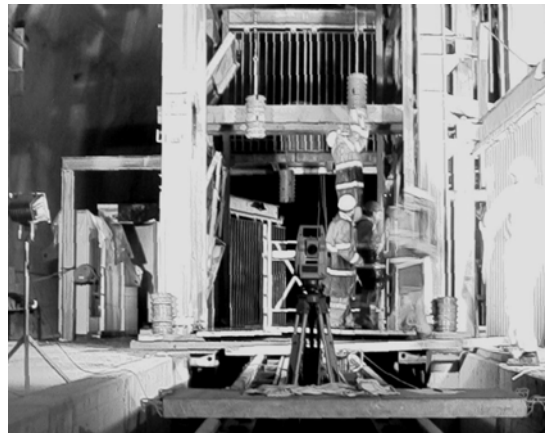


Abb.4: Lote mit 192 kg Gewicht

4 Auswertung

4.1 Modell für die Lotabweichungskorrekturen

Die Lotabweichung geht bei der Punktübertragung direkt in die Genauigkeit der Koordinaten ein und muss zwingend berücksichtigt werden. Die Lotlinie ist zudem gekrümmt, die Korrekturwerte an Schachtfuss und -kopf unterscheiden sich. Für die Bestimmung der Lotabweichungen wird das Geoid-Modell 98 von

Marti (Programm CHGEO98) verwendet. Die Genauigkeit der Lotabweichungen beträgt ca. 0.3 mgon. Die Abb. 5 enthält die jeweiligen Lotabweichungswerte und die daraus resultierenden Korrekturwerte.

Das Modell für die Lotabweichungen ist bei der optischen und der mechanischen Lotung identisch. Die beiden Methoden sind deswegen nicht ganz unabhängig, allfällige systematische Fehler im Geoidmodell bleiben unentdeckt.

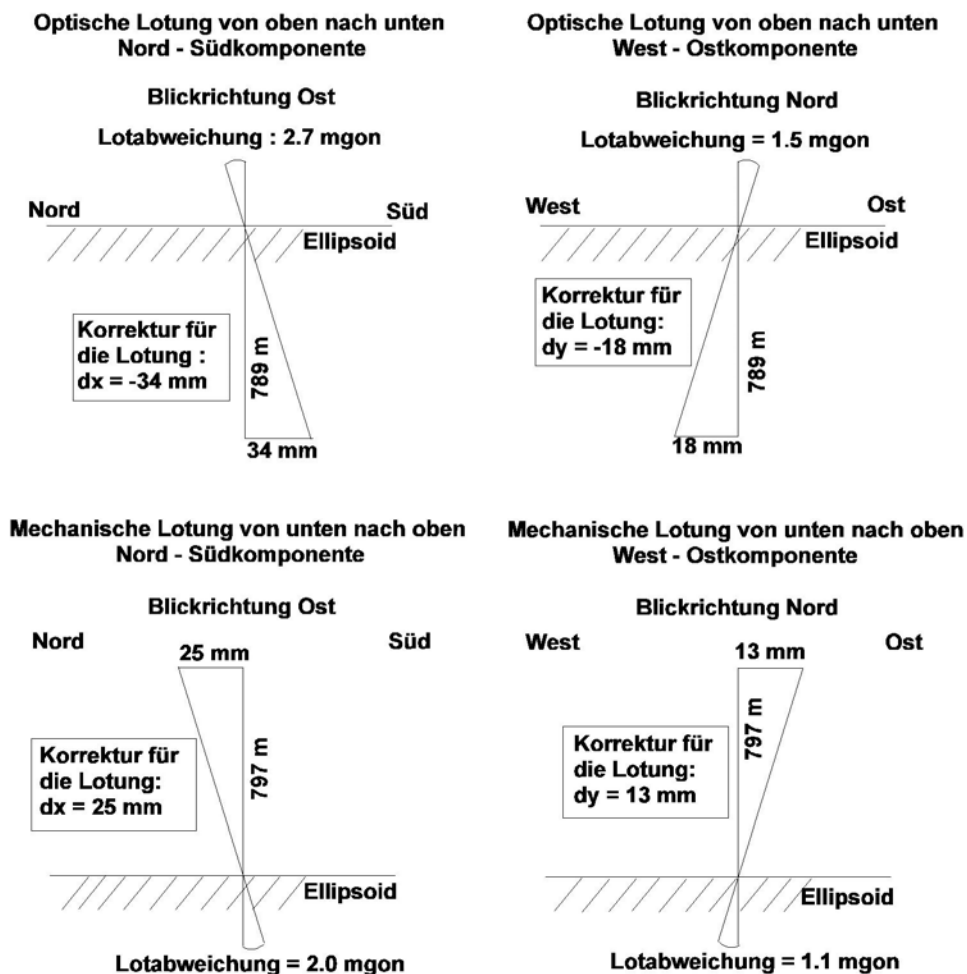


Abb. 5: Für die Korrektur des Einflusses der Lotabweichungen verwendete Werte

4.2 Optische Lotung

In einem ersten Arbeitsschritt erfolgte die Berechnung der inneren Genauigkeit der optischen Lotung. Die beiden durch die Lotpunkte definierten Dreiecke an Schachtkopf und -fuss wurden miteinander verglichen. Die Restklaffungen einer einfachen Transformation (Translationen in Y- und X-Richtung) liegen zwi-

schen 0.9 und 4.1 mm, die daraus resultierende innere Genauigkeit der Lotung beträgt 3.7 mm in Y-Richtung, bzw. 2.8 mm in X-Richtung. Hinzu kommt die Unsicherheit der Lotabweichung von 0.3 mgon, bzw. ca. 4 mm auf 800 m. Die Genauigkeit der optischen Lotung beträgt damit ca. 6 mm.

4.3 Mechanische Lotung

Systematische Einflüsse wie Wetterzug, Tropfwasser und Krümmung des Drahtes lenken den Lotdraht von der Solllage ab. Diese Einflüsse sind umgekehrt proportional zum Gewicht und können mit der Mehrgewichtsotung berücksichtigt werden. Anhand der 3 Messreihen (1. volles Gewicht, 2. halbes Gewicht, 3. volles Gewicht) können zwei Auswertungen und Berechnungen der Solllage durchgeführt werden. Die maximalen Abweichungen zwischen den beiden Auswertungen betragen für den einen Beobachtungsstandort 10.2 mm, für den anderen 1.5 mm.

Die Genauigkeitsabschätzung erfolgt auch hier mit der Transformation der beiden Dreiecke an Schachtkopf und -fuß und unter Berücksichtigung der Genauigkeit der Lotabweichungen. Für die mechanische Lotung resultiert daraus eine Genauigkeit von 5 mm.

5 Netzausgleichung und Resultate

In der Netzausgleichung werden die Resultate der optischen und mechanischen Lotung gemeinsam mit den Anschlussmessungen an Schachtkopf und -fuß ausgeglichen. Die bei der optischen Lotung von unten nach oben mit dem Tachymeter gemessenen Distanzen dienen der Höhenübertragung, die in einer anderen Kampagne gemessenen Kreiselazimute der Orientierungsübertragung.

Ausgleichungsvarianten, in denen nur die optische, bzw. nur die mechanische Lotung berücksichtigt werden, führen am Schachtfuß zu Koordinatendifferenzen in Y (Ost) und X (West) von lediglich 2 mm.

6 Ausblick

Im Verlauf des Jahres 2003 hat das mit dem Bau der Multifunktionsstelle und dem unterirdischen Tunnelausbruch beauftragte Baukonsortium 38 m neben dem ersten Schacht einen zweiten Schacht (Durchmesser 6.5 m) abgeteuft. Dieser soll die Bauarbeiten erleichtern und den Schacht I entlasten. Für die Vermessungsfachleute stellt dieser Schacht eine willkommene Möglichkeit für eine unabhängige Messung dar. Sofern der Baubetrieb dies erlaubt, soll im Winter 2003/04 eine Lotung im Schacht II durchgeführt werden. Im Unternehmervertrag sind zudem Zeitfenster für eine oder zwei weitere Lotungen im Hauptschacht zu einem späteren Zeitpunkt festgelegt worden.

Informationen auf dem Internet zum Projekt AlpTransit:

<http://www.alptransit.ch>

Literatur:

- EBNETER, F. [2004]: AlpTransit Gotthard: Aufgaben und Organisation der Vermessung. XIV. Konferenz für Ingenieurvermessung, Zürich. Herausgeber: H. Ingensand, geomETH, Zürich.
- STENGELE, R. [2004]: Geodätische Grundlagen für den Gotthard-Basistunnel. XIV. Konferenz 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
- SCHÄTTI, I.; STENGELE, R. [2002]: AlpTransit Gotthard AG, Basistunnel, Sedrun, Schacht I, Lotung 1, Messung vom 08.-12. März 2002, Technischer Bericht. Interner Bericht, unveröffentlicht.
- INGENSAND, H [2002]: Die vermessungstechnischen Herausforderungen beim Bau des längsten Eisenbahntunnels der Welt. FuB Flächenmanagement und Bodenordnung, 64. Jg. Heft 2, April 2002.
- MARTI, U. [2002]: Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 10: Das Geoid der Schweiz 1998 "CHGEO98". Bericht 16, swisstopo - Bundesamt für Landestopographie, Bern.
- RYF, A.; HAAG, R.; SCHÄTTI, I. [2000]: AlpTransit Gotthard-Basistunnel: Aktueller Projektstand, ingenieurgeodätische Aspekte. XIII. Kurs für Ingenieurvermessung, München. Herausgeber: Schnädelbach, Schilcher, Wittwer Verlag, Stuttgart.
- HENNES, M. [1997]: Studie zur Risikominimierung und Genauigkeitssteigerung bei Schachtlotungen. Im Auftrag der AlpTransit AG. Interner Bericht, unveröffentlicht.
- HAAG, R.; RYF, A.; STENGELE, R. [1996]: Grundlagennetze für extrem lange Tunnel am Beispiel des Gotthard-Basistunnels (Länge: 57km). XII. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung, Herausgeber: Brandstätter, Brunner, Schelling, Dümmler Verlag, Bonn.

Anschriften:

VI-GBT:

Ivo Schätti

Grünenfelder und Partner AG

Denter Tumas 6

7013 Domat/Ems

ivo.schaetti@gruenenfelder.ch

<http://www.gruenenfelder.ch>

ETH Zürich:

Adrian Ryf

geomETH, Geodätische Messtechnik

ETH Hönggerberg

8093 Zürich

adrian.ryf@geod.baug.ethz.ch

<http://www.geometh.ethz.ch>