Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 98 (2000)

Heft: 5

Artikel: Vermessungsarbeiten für AlpTransit in Sedrun : Diplomvermessungskurs 1999 der ETH Zürich

Autor: Baumeler, M. / Ryf, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-235643

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

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

Vermessungsarbeiten für AlpTransit in Sedrun

Diplomvermessungskurs 1999 der ETH Zürich

Im Sommer 1999 fand der Diplomvermessungskurs der ETH Zürich in Rueras bei Sedrun im Kanton Graubünden statt. Unter der Leitung der Professur Ingensand vom Institut für Geodäsie und Photogrammetrie beschäftigten sich 18 Studierende des Diplomjahrganges mit ingenieurgeodätischen Aufgaben. Auf der AlpTransit-Baustelle und bei weiteren Objekten hatten sie Gelegenheit, das während des Studiums gesammelte Wissen umzusetzen. Der vorliegende Bericht beschreibt die Arbeiten und Resultate, wobei das Schwergewicht bei den Tätigkeiten im Zusammenhang mit dem Projekt AlpTransit liegt.

La campagne de terrain 1999 des diplômants de l'EPF Zurich a eu lieu l'été passé à Rueras, près de Sedrun, dans le canton des Grisons. Le travail des 18 étudiants de cette volée a été dirigé par la chaire du professeur Ingensand, de l'institut de géodésie et de photogrammétrie et il a porté sur des thématiques de mensuration technique. Les étudiants ont ainsi pu appliquer les connaissances acquises durant leurs études à des problématiques liées plus ou moins directement au projet d'AlpTransit. Le présent article donne un aperçu des travaux effectués et de leur résultats. Il insiste plus particulièrement sur les aspects liés à la nouvelle transversale alpine.

Durante l'estate 1999 il corso di diploma della sezione misurazioni del Politecnico federale di Zurigo si è tenuto a Rueras, presso Sedrun nel Cantone dei Grigioni. Un gruppo di 18 studenti prossimi al diploma, sotto la guida del Professor Ingensand e dei suoi assistenti dell'Istituto di geodesia e fotogrammetria, si sono impegnati in diverse attività geodetiche. Gli studenti hanno, così, avuto modo di mettere in pratica quanto appreso durante lo studio, operando presso diversi oggetti tra cui il cantiere AlpTransit. Il presente rapporto descrive i lavori di rilevamento e i risultati conseguiti. Particolare attenzione è stata riservata alle attività inerenti il progetto AlpTransit.

M. Baumeler, A. Ryf

Welches sind die Anforderungen an die Tunnelvermessung beim Jahrhundertbauwerk AlpTransit? Welche besonderen Randbedingungen müssen bei der Vermessung in einem Tunnel berücksichtigt werden? Wie kann die Netzorientierung in einem 800 m tiefen Schacht übertragen werden? Wie können die Auswirkungen eines Tunnelbaus an der Erdoberfläche mit geodätischen Methoden überwacht werden? Wie können Rutschgebiete im Hochgebirge während Jahren überwacht werden? Diese und viele andere Fragen stellten sich die 18 Studierenden des Diplomjahrganges zu Beginn ihres Diplomvermessungskurses (DVK) im Bündner Vorderrheintal. Wie schon zwei Jahre zuvor hatte die Professur Ingensand im Sommer 1999 im Schulhaus Rueras ihr Kurszentrum eingerichtet und umfangreiches Vermessungs- und Informatikmaterial vom Hönggerberg dorthin verlegt.

Die Studierenden waren in drei Aufgabenbereichen tätig: Eine Gruppe führte mit GPS die Folgemessung eines Rutschgebietes durch, das schon in früheren Diplomkursen der ETH 1983 und 1997 als Messobjekt diente. Einen wichtigen Aspekt stellte dabei der Vergleich trigonometrischer Höhenübertragungen mit aus GPS bestimmten Höhendifferenzen dar. Der zweiten Gruppe standen die Messanlagen für den Zwischenangriff von AlpTransit zur Verfügung. Neben einer Nachmessung des Portalnetzes mit GPS konzentrierten sie sich auf Vortriebsmessungen im Zugangsstollen zum Schacht und auf die Orientierungsübertragung ins Tunnelinnere mit Kreiselazimuten. Die dritte Gruppe kontrollierte und ergänzte ein grossräumiges GPS-Rückversicherungsnetz für die Staumauern Santa Maria, Nalps und Curnera der Kraftwerke Vorderrhein, welches im Diplomkurs 1997 erstmals gemessen worden war. Zudem studierten sie die Einrichtung von Messanlagen zur Überwachung von Talquerprofilen im Val Nalps vor und während der Unterfahrung durch den Gotthard-Basistunnel.

Der vorliegende Bericht behandelt schwergewichtig die Messungen und Resultate der Arbeiten im Bereich AlpTransit. Die Resultate der übrigen Objekte sind Gegenstand separater Publikationen.

Die Professur Ingensand möchte an dieser Stelle allen danken, die das Gelingen der Arbeiten unterstützt haben. Der Dank gilt insbesondere der Gemeinde Sedrun für ihre Gastfreundschaft und der Projektleitung der AlpTransit Gotthard AG und deren Bauleitung in Sedrun für den Zugang in den Stollen sowie für die Benutzung der Schutzkleidung und der Infrastruktur. Sehr wertvoll waren zudem die Dienste des Konsortiums Vermessungsingenieure Gotthard-Basistunnel (VI-GBT) unter der Federführung des Büros Grünenfelder und Partner AG. Dessen Messanlagen durften von den Studierenden uneingeschränkt benutzt werden, Pläne und Vermessungszubehör standen ebenfalls zur Verfügung.

Der Zwischenangriff Sedrun

Eine der fünf Baustellen des Gotthard-Basistunnels befindet sich in Sedrun. Der eigentliche Tunnelvortrieb erfolgt am Fuss eines 800 m tiefen Vertikalschachtes. Da aus geologischen Gründen ein direktes Abteufen des Schachtes in Sedrun nicht möglich ist, wird der Schachtkopf mit einem 990 m langen, horizontalen Zu-

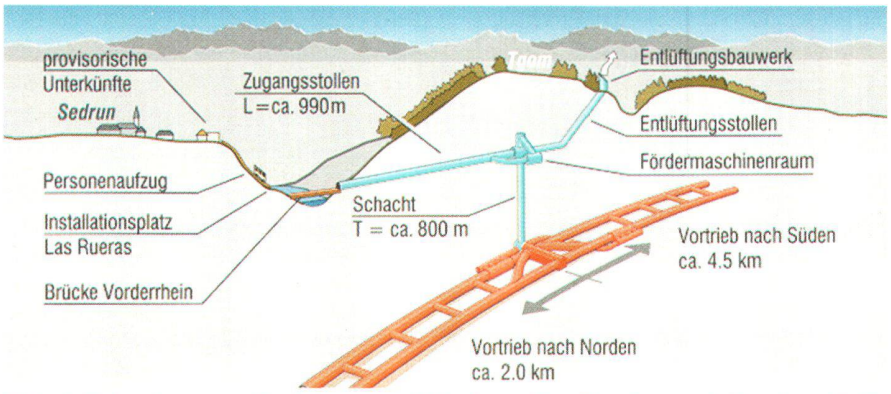

Abb. 1: Schachtsystem Zwischenangriff Sedrun (Grafik AlpTransit Gotthard AG).

gangsstollen erschlossen. Vom Schachtkopf führt ein 450 m langer Entlüftungsstollen Richtung Süden ins Val Nalps (Abb. 1).

Vom Zwischenangriff Sedrun (ZAS) aus erfolgt die Durchörterung der geologisch anspruchsvollen Zonen des Tavetscher Zwischenmassivs. Im Frühjahr 1996 wurde mit dem Bau begonnen. Der Zugangsstollen ist seit dem Sommer 1997 fertiggestellt, der Vertikalschacht im Frühjahr 2000 abgeteuft. Nach dem Ausbau der Kavernen am Schachtfuss soll im Jahre 2002 mit den Tunnelvortrieben Richtung Nord und Süd begonnen werden.

Portalnetz

Durch das Konsortium VI-GBT erfolgte im Winter 1995/96 im Rahmen der Grundlagenvermessung für den Gotthard-Basistunnel die GPS-Bestimmung von sechs Punkten im Bereich des ZAS, gemeinsam mit Punkten an allen anderen Vortriebsstellen des Tunnels. Für die Absteckung der Aussenanlagen und den Zugangsstollen wurde dieses Netz lokal mit weiteren Punkten ergänzt.

Im Diplomvermessungskurs 1999 wurde das Portalnetz nachgemessen. Die Bestimmung von sieben Punkten des Portalnetzes, sowie von drei Punkten beim Entlüftungsbauwerk im Val Nalps erfolgte mit GPS. Dabei kamen Leica-Geräte der Systeme 200, 300 und 500 zum Einsatz. Bei den Punkten des Portalnetzes handelt es sich um zwei Portalpfeiler, drei Fernzielpunkte, zwei LFP2-Punkte sowie den LV95-Punkt bei Disentis. Die GPS-Kampagne umfasste drei Sessionen mit einer Messzeit von je einer Stunde. Jeder Punkt wurde zweimal unabhängig stationiert. Auf den beiden Portalpfeilern erfolgten mit einem motorisierten Tachymeter zusätzliche Messungen zu den Fernzielpunkten.

Die Gesamtausgleichung aller Messungen mit LTOP ergibt für die Lagekoordinaten eine Genauigkeit von 5 mm. Dieser Wert entspricht der Genauigkeit, wie sie bereits bei der Erstbestimmung durch das Konsortium VI-GBT erreicht wurde. Aus dem Vergleich der Netze VI-GBT und DVK 99 resultieren Koordinatendifferenzen von maximal 7 mm. Signifikante Punktverschiebungen können somit nicht festgestellt werden, das Portalnetz hat sich als stabil erwiesen.

Vortriebsnetz

Das Vortriebsnetz des Zugangsstollens wurde dreimal, an verschiedenen Tagen mit unterschiedlichem Messablauf und über jeweils andere Instrumentenstandpunkte gemessen. Neben zwei Punkten direkt vor dem Tunnelportal besteht das Vortriebsnetz aus vier Tunnelhauptpunkten in Schächten in der Tunnelmitte. Jeder dieser Hauptpunkte ist mit Bolzen an den Tunnelwänden rückversichert, auf die für die Messung Zielmarken oder Prismen aufgesetzt werden.

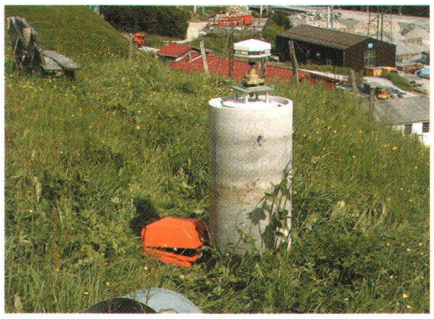

Abb. 2: GPS-Messungen.

Im Tunnel herrschen spezielle Arbeitsbedingungen: Wegen der schlechten Beleuchtung müssen die Prismen für das Auffinden zusätzlich beleuchtet werden. Rufverständigung ist nur über wenige Meter möglich, Standardfunkgeräte versagen ihren Dienst, die Reichweite spezieller Stollenfunkgeräte liegt bei ca. 600 m. Aufgrund der Tunnelgeometrie liegen die Hauptpunkte alle in einer Linie. Beim Arbeiten mit der automatischen Zielerfassung (ATR) besteht die Gefahr von Punktverwechslungen. Der Baustellenverkehr muss auch während der Messungen möglich sein, Stative müssen deshalb speziell gesichert und beleuchtet werden.

Die Auswertung der Messungen erfolgt in einem ersten Schritt für die einzelnen Varianten getrennt. Der Vergleich der Koordinaten des innersten Punktes bei Tunnelmeter 863 zeigt, dass die drei gemessenen Varianten um bis zu 25 mm voneinander abweichen. Dieser Wert liegt über den Erwartungen und ist nach näherer Betrachtung auf eine Verfälschung der Messungen durch Seitenrefraktion im Portalbereich zurückzuführen. Diese Problematik wurde offensichtlich bei der Planung der Messungen zu wenig beachtet.

In der Nähe der Schachtkaverne zeigt die Analyse der gegenseitigen Höhenwinkelmessungen Unstimmigkeiten in der Grössenordnung von mehreren Milligon. Offensichtlich wirken sich die wegen des Arbeits- und Windenbetriebes erhöhten Temperaturen ungünstig auf die Messungen aus. Im Gegensatz zur Seitenrefraktion ist die Vertikalrefraktion jedoch weniger kritisch, da die Höhenbestimmung im Tunnelvortrieb über ein Nivellement erfolgt.

Bei der gemeinsamen Ausgleichung aller drei Varianten ergibt sich für den innersten Punkt eine Standardabweichung von 4.3 mm in Querrichtung und 3.2 mm in Längsrichtung. Dies bedeutet eine Verbesserung der Genauigkeit der Koordi-

naten gegenüber den Einzelauswertungen um 30%.

Kreiselmessungen

In Tunneln werden die Messanlagen für den Vortrieb in Form von Polygonzügen oder polygonartigen Netzen angelegt. Durch den einseitigen Anschluss und die ungünstige Geometrie nimmt der für den Durchschlag entscheidende Querfehler mit anwachsender Tunnellänge zu. Mit Präzisionsvermessungskreiseln ist eine erhebliche Steigerung der Zuverlässigkeit der Vortriebsrichtung und ab etwa 3 km Tunnellänge auch eine Genauigkeitssteigerung möglich.

Beim Zwischenangriff Sedrun erhalten die Kreiselmessungen eine besondere Bedeutung. Nach dem Ausbruch des 800 m tiefen Vertikalschachtes ist am Schachtfuss eine präzise Richtungsangabe mit dem Vermessungskreisel erforderlich: Zwischen zwei bekannten Punkten des oberirdischen Netzes (Eichlinie) wird dazu ein Referenzazimut gemessen und ein Eichwert bezüglich des Azimutes aus Koordinaten bestimmt. Dieser Eichwert und weitere Reduktionen (siehe unten) werden an den Kreiselmessungen am Schachtfuss angebracht und damit die Orientierung übertragen. Wegen der Temperaturanfälligkeit des Kreisels sollten die Richtungsangabe und die Eichwertbestimmung bei möglichst ähnlichen Bedingungen vorgenommen werden. Letztere sollte wegen der Gefahr einer Drift vor und nach der Richtungsangabe durchgeführt werden.

Das Prinzip des Vermessungskreisels

Die ETH Zürich besitzt einen Gyromat 2000 der DMT (Deutsche Montan Technologie). Die folgenden Informationen beziehen sich einerseits allgemein auf Kreiseltheodolite, andererseits im Speziellen auf das Gerät der ETH.

Vermessungskreisel dienen der Angabe der Nordrichtung. Dabei wird eine an Bändern aufgehängte Masse mit hoher Geschwindigkeit um eine Achse zum Rotieren gebracht. Das Bestreben der Masse, ihre Lage im Raum unverändert beizubehalten, wird durch die Erdrotation beeinflusst. Diese Präzessionsbewegung führt zu Schwingungen um die geographische Nordrichtung, das heisst, die Richtkraft der Erdrotation zwingt die Masse, um eine Achse zu schwingen, die parallel zum Meridian verläuft. Am Äquator ist die Richtkraft am grössten, gegen die Pole nimmt sie ab. Ab einer Breite von ca. 70° versagt der Kreisel seine Dienste.

Der Kreisel übergibt die Orientierung mechanisch über das Aufhängeband an einen Theodoliten, mit dem anschliessend die Azimute zu beliebigen Zielpunkten gemessen werden können. Mit Vorteil werden möglichst horizontale Zielungen verwendet, um den Lotabweichungseinfluss auf die Richtungsmessung minimal zu halten.

Vermessungskreisel sind verschiedenen systematisch wirkenden Einflüssen unterworfen, so beispielsweise Temperaturschwankungen und Driften der Schwingungsmittellage des Kreisels während der Messung. Der Gyromat 2000 gibt bei einer Drift, die während einer Messung grösser als 0.3 mgon ist, eine Warnung aus. Die entsprechende Azimutbestimmung ist unbrauchbar. Die Temperatureinflüsse werden durch ein Polynom approximiert und im Gerät korrigiert. Die Analyse dieser Einflüsse und der Zuverlässigkeit des Korrekturpolynomes waren Gegenstand umfangreicher Untersuchungen an der ETH [1]. Messungen in der Klimakabine in einem Temperaturbereich von –10 bis +40°C haben ergeben, dass insbesondere bei tiefen Temperaturen nicht vernachlässigbare Abweichungen auftreten. Der Bereich zwischen 10 und 25°C ist weniger problematisch und Vergleiche mit Messungen des Kreisels der Hochschule der Bundeswehr in München haben Differenzen ergeben, die innerhalb der Messgenauigkeit liegen.

Die beim praktischen Einsatz in der Schweiz notwendigen Reduktionsschritte werden im folgenden beschrieben. Da es um relative Azimutbestimmungen in einem kurzen Zeitraum geht, können die Bandnulllage und die Polbewegung vernachlässigt werden. Erstere wird durch den Eichwert abgefangen, die Lage des Pols ändert sich innerhalb einer normalen eintägigen Messkampagne nicht signifikant.

Reduktion der Kreiselazimute

Bei relativen Orientierungen mit Kreiselazimuten, wie sie im Tunnelbau durchgeführt werden, muss das gemessene Azimut gemäss nachstehender Formeln in das schweizerische Projektionssystem reduziert werden [2]. Die Reduktion infolge der Höhe des Zielpunktes kann vernachlässigt werden.

$$A_E = \alpha_M - dA - \gamma + dT + \Delta_E \quad (1)$$

A_E: ebenes, korrigiertes Azimut
α_M: gemessenes Azimut
dA: Lotabweichungsreduktion
γ: Meridiankonvergenz
dT: Richtungsreduktion
Δ_E: Eichwert

Kreiselmessungen erfolgen in einem astronomischen System, weiterverarbeitet werden sie jedoch in einem ellipsoidischen. Das gemessene Azimut muss deshalb um die Lotabweichung, das heisst den Winkel zwischen der Lotrichtung und der Ellipsoidnormalen wie folgt korrigiert werden (Laplace-Gleichung):

$$dA = \eta \tan \varphi + (\zeta \sin\alpha_M - \eta \cos \alpha_M) \operatorname{ctg} z \quad (2)$$

η: Ost-West Komponente der Lotabweichung [cc]
ζ: Nord-Süd Komponente der Lotabweichung [cc]
φ: geographische Breite
z: Zenitwinkel

Als Meridiankonvergenz wird der Winkel zwischen der geographischen Nordrichtung und Kartennord bezeichnet. Sie lässt sich nach folgender Formel berechnen:

$$\gamma^{cc} = 106.68\, y + 1.78766 \cdot 10^{-2}\, xy + 4.3065 \cdot 10^{-6}\, yx^2 - 1.4355 \cdot 10^{-6}\, y^3 \quad (3)$$

y, x: Landeskoordinaten des Standortes [km]

Die Abbildung des kürzesten Abstandes zweier Punkte auf dem Ellipsoid in die Projektionsebene ist eine gekrümmte Linie. Das Kartenazimut hingegen bezieht sich auf eine Gerade, weshalb eine Richtungskorrektur gemäss folgender Formel anzubringen ist:

$$dT^{cc} = \frac{\rho}{6R^2}(y_z - y_s)(x_z + 2x_s) \qquad (4)$$

y_s, x_s: Landeskoordinaten des Standpunktes [km]
y_z, x_z: Landeskoordinaten des Zielpunktes [km]
ρ: 636619.7^{cc}
R: Mittlerer Erdradius 6378.8 km

Zwischen dem ebenen Azimut t und dem aus Koordinaten bestimmten Azimut ergibt sich eine Differenz, der Eichwert. Neben der Polhöhenschwankung, sowie instrumentenbedingten Abweichungen, beinhaltet der Eichwert auch eine eventuelle Verdrehung des Bezugsnetzes. Er wird durch die Messung auf zwei bekannten Punkten bestimmt.

$$\Delta_E = A_{Koor} - t \qquad (5)$$

A_{Koor}: Azimut aus Koordinaten
t: gemäss (2) bis (4) reduziertes Kreiselazimut

Kreiselmessungen im DVK 1999

An drei Tagen wurden mit dem Gyromat 2000 der ETH Zürich Kreiselmessungen im Portal- und Vortriebsnetz durchgeführt. Zwei Fernziele des Portalpfeilers mit nahezu horizontaler Zielung in einer Entfernung von 1.8, bzw. 5.9 km dienten der Bestimmung des Eichwertes.

Am ersten Tag gaben Wiederholungsmessungen auf dem Portalpfeiler den Studenten Gelegenheit, das Instrument kennenzulernen und erste Daten für den Vergleich mit den Azimuten aus Koordinaten zu beschaffen.

An zwei weiteren Messtagen erfolgte die Azimutübertragung ins Stolleninnere. Die beiden Azimute auf dem Portalpfeiler wurden dabei vor und nach der Messung im Stollen je drei mal gemessen. Dieses Vorgehen garantiert eine zuverlässige Bestimmung des Eichwertes und eine Kontrolle des Verhaltens des Kreisels während des gesamten Einsatzes. Im Stollen wurde ein gegenseitiges Azimut zwischen zwei Hauptpunkten im Abstand von 380 m ebenfalls je drei mal bestimmt. Da die präzise Zentrierung des Kreisels umständlich ist und sich das Gerät durch das grosse Gewicht und die bei der Messung auftretenden grossen Drehmomente verschieben kann, wurde die Position des Gerätes aus den Rückversicherungen bestimmt und nach der Messung kontrolliert. Die Zentrierung der Azimute erfolgte rechnerisch.

Abb. 3: Kreiselmessung auf dem Portalpfeiler.

Die Abbildung 4 zeigt das Verhalten des Kreisels während der drei Tage. Die Grafik zeigt, dass die Differenzen zwischen den gemessenen Kreiselazimuten und den Azimuten aus Koordinaten mit Ausnahme von zwei Ausreissern in einem Bereich von etwa 3.5 mgon variieren. Der Eichwert beträgt durchschnittlich 15.1 mgon.

Die Reduktion aller gemessenen Azimute geschieht mit den oben beschriebenen Formeln. Die Interpretation der Resultate erfolgt auf zwei prinzipiell unterschiedli-

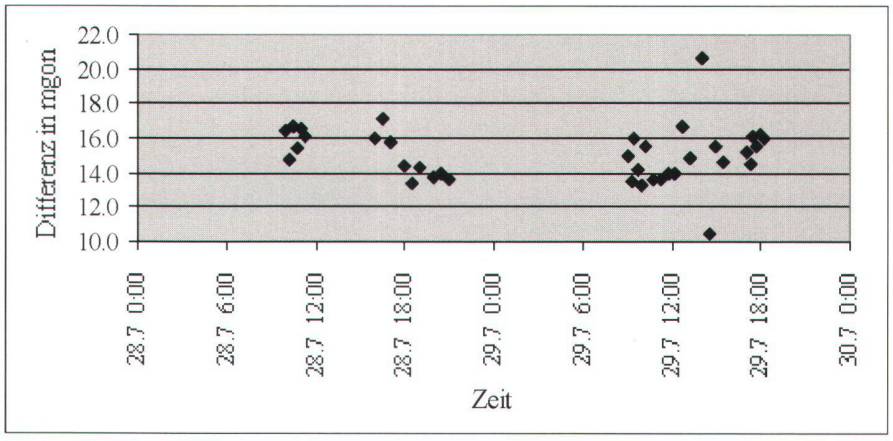

Abb. 4: Differenzen der Kreiselazimute zu den Azimuten aus Koordinaten.

che Arten. Zum einen werden alle an den drei Tagen gemessenen Kreiselazimute einzeln in die Gesamtausgleichung des Vortriebsnetzes eingeführt und für jeden Tag eine unterschiedliche Orientierungsunbekannte geschätzt. Diese Auswertung ergibt eine a posteriori – Genauigkeit von 1.2 mgon für eine einzelne Kreiselmessung. Zum zweiten wird für jeden Tag aus den Messungen auf dem Portalpfeiler ein Eichwert bestimmt und an den Messungen im Stollen angebracht. Die resultierenden Azimute können mit den Azimuten aus der Vortriebsmessung verglichen werden. Am ersten Messtag beträgt die Differenz 0.1 mgon, am zweiten Messtag 0.8 mgon. Der Vergleich mit den Azimuten aus der Durchschlagsmessung (Zugangsstollen – Lüftungsstollen) des Konsortiums VI-GBT ergibt Differenzen von –0.7, bzw. 0.0 mgon. Die Genauigkeit der Richtungsübertragung ist also besser als 1 mgon.

Für die Richtungsangabe am Schachtfuss werden die grossen Temperaturunterschiede zu beachten sein. Im DVK 99 konnten nur beschränkt Erfahrungen mit dem Temperaturverhalten des Kreisels gemacht werden. Die Temperaturen im Tunnel und im Aussennetz variierten lediglich um 5°C.

Profilmessungen im Val Nalps

Zwei Ereignisse haben die Planer von Tunnelbauten in den Alpen aufhorchen lassen: Zum einen sind dies die Auswirkungen des Baus eines Sondierstollens für den Rawil-Tunnel auf die Staumauer Tseuzier im Unterwallis in den 70er Jahren, zum anderen die Aufdeckung von Senkungen im Dezimeterbereich in der Umgebung eines Lüftungsschachtes des Gotthard-Strassentunnels durch Nachmessungen des Landesnivellementes Ende der 90er Jahre. Obwohl die Gebirgsüberlagerung des Gotthard-Basistunnels bei der Staumauer Nalps südlich von Sedrun 1350 m beträgt, sind Setzungen an der Oberfläche nicht mit letzter Sicherheit auszuschliessen. Ein einseitiges Absinken einer Talflanke könnte die Staumauer stark beschädigen und längere Betriebsunterbrüche zur Folge haben. Grossräumige Kontrollmessungen vor, während und nach der Unterfahrung von Kraftwerksanlagen mit Tunneln sind daher sicher sinnvoll.

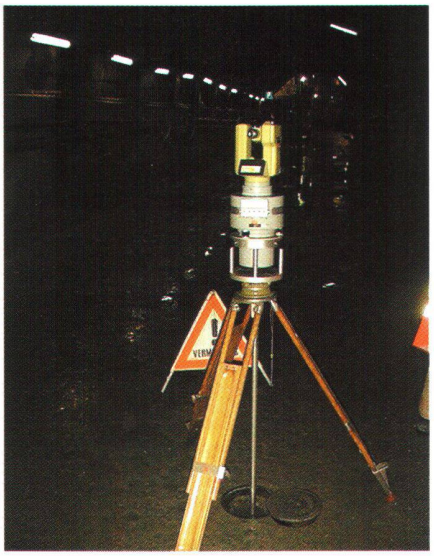

Abb. 5: Kreiselmessungen im Zugangsstollen.

Eine Gruppe von Studenten hat sich im DVK mit den Möglichkeiten beschäftigt, mit geodätischen Methoden Profile quer zum Tal zu überwachen. Sie haben dazu unmittelbar hinter dem Stausee Nalps am Talboden und an den beiden Talhängen insgesamt sechs Punkte versichert und diese während 24 Stunden ununterbrochen mit GPS gemessen. Die maximale Höhendifferenz im Profil beträgt 100 m, die horizontale Entfernung der obersten Punkte ca. 400 m.

800 m vor der Staumauer wurde ein Profil von 12 Punkten eingerichtet (Abb. 6). Die Beobachtung dieser Punkte geschah während 24 Stunden mit einem motorisierten Tachymeter vom Profilpunkt im Talgrund aus. Im Abstand von 30 Minuten wurden jeweils 3 vollständige Sätze (Richtungen, Höhenwinkel und Distanzen) automatisch gemessen. Die maximale Höhendifferenz in diesem Profil beträgt 240 m, die Ausdehnung über das Tal knapp 800 m, die längste gemessene Distanz beträgt 547 m.

Erkenntnisse aus dem GPS-Profil

Mit GPS können innerhalb des Profiles relative Höhengenauigkeiten von 1–2 mm erreicht werden, wenn folgende Grundsätze beachtet werden: Die Punkte werden nicht in der Nähe von Felswänden und -platten angelegt, damit keine Verfälschungen durch Mehrwegausbreitung der Satellitensignale zu befürchten sind. Die Messdauer beträgt mindestens eine Stunde, es werden Antennen des gleichen Typs verwendet und zwei zu vergleichende Messungen werden mit identischer Satellitenkonstellation durchgeführt. Letztere wiederholt sich nach jeweils 23 Stunden und 56 Minuten, falls keine Satelliten ausfallen oder Orbitverschiebungen stattfinden.

Erkenntnisse aus dem Tachymeterprofil

Erfahrungsgemäss ist der hauptsächliche Unsicherheitsfaktor bei trigonometrischen Höhenmessungen die Refraktion.

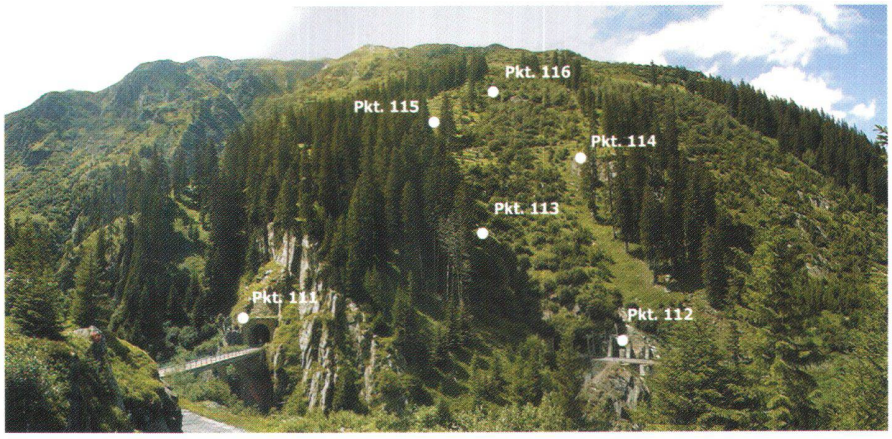

Abb. 6: Tachymeterpunkte am linken Talhang.

Dies haben auch die Messungen im Val Nalps gezeigt. Für abschliessende Aussagen genügt das Messfenster von 24 Stunden allerdings nicht, denn die Temperaturverhältnisse variierten nur schwach. Für eine bessere Beurteilung müssten Messungen zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt werden. Aus den halbstündlichen Messungen resultiert eine Wiederholgenauigkeit für die Höhe von 3 mm für den Punkt in einer Entfernung von 547 m und eine von 1 mm für die nächstgelegenen Punkte.

Weitere Aspekte

Die Messungen im Tachymeterprofil sind Gegenstand weiterer Untersuchungen auf der Basis szintillometrischer Beobachtungen [8]. Dabei wird die Wirkung von Luftturbulenzen auf die optische Ausbreitung analysiert. Die Resultate werden zu einem späteren Zeitpunkt publiziert.

Vor der definitiven Einrichtung von Messprofilen zur geodätischen Überwachung der Hänge wären natürlich noch viele Fragen zu klären, auf die hier nicht eingegangen wird. Art der Punktversicherung, Stromversorgung, Datenspeicherung und -übertragung, Wintersicherheit, Zugänglichkeit, Unterhalt, Wirtschaftlichkeit, usw. seien hier nur als Denkanstösse erwähnt.

Es lohnt sich in jedem Fall, Messserien frühzeitig, das heisst, einige Monate vor Beginn der Unterfahrung mit dem Tunnel durchzuführen, um Erfahrungen zu sammeln und Zeitreihen zu erhalten, die das «normale» Verhalten der Talflanken beschreiben.

Schlussbemerkung

Mit Begeisterung haben die 18 Studierenden in Sedrun an den verschiedenen Projekten gearbeitet, voller Stolz, damit einen kleinen Beitrag an das Jahrhundertbauwerk AlpTransit liefern zu können. Mit ebensoviel Elan erfolgte die Ausarbeitung der Diplomarbeiten, welche die Basis für den vorliegenden Bericht bildete. Unter www.geometh.ethz.ch/news.htm sind Kurzzusammenfassungen der Diplomarbeiten zu finden.

Auch im neuen Studienplan für die Geomatikingenieure an der ETH bleibt der Diplomvermessungskurs eine Wahlmöglichkeit für Studierende, die an der geodätischen Messtechnik interessiert sind. Für die Zulassung zum schweizerischen Geometerpatent ist der Besuch des DVK obligatorisch. Möge der Kurs in Zukunft weiterhin zu jenen Studienereignissen gehören, an die sich die ETH-Abgänger gerne zurückerinnern!

Bibliographie:

[1] Desiderio, A.; Koch, R. [1998]: Der Einfluss der Temperatur auf Kreiselazimute hoher Präzision. ETH Zürich, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Bericht Nr. 281.

[2] Zanini, M. [1992]: Hochpräzise Azimutbestimmung mit Vermessungskreiseln. ETH Zürich, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Bericht Nr. 209.

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

[4] Baumeler, M.; Brunner, A. [2000]: Alptransit Sedrun: Portalnetz & Kreiselmessungen, Diplomarbeit Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich.

[5] Fierz, B.; Huber, M. [2000]: Staumauern Santa Maria, Nalps und Curnera: GPS-Folgemessung und Netzverdichtung / TCA Profil, Diplomarbeit Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich.

[6] Gasparoli, L.; Wenk, D. [2000]: Staumauer Nalps: Deformationsvermessung: GPS- und TCA-Profile, Diplomarbeit Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich.

[7] Holenstein, T.; Meier, R. [2000]: Alptransit Zwischenangriff Sedrun: Kontrolle Portalnetz, Messungen im Vortriebsnetz, Diplomarbeit Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich.

[8] Troller, M. [2000]: Szintillometrische Refraktionsbeobachtung, Diplomarbeit Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich.

Martin Baumeler
Dipl. Ing. ETHZ
Grunder Ingenieure AG
Bernstrasse 21
CH-3400 Burgdorf
e-mail: martin.baumeler@grunder.ch

Adrian Ryf
Dipl. Ing. ETHZ
Institut für Geodäsie und
Photogrammetrie
ETH-Hönggerberg
CH-8093 Zürich
e-mail:ryf@geod.baug.ethz.ch