Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 114 (1996)
Heft: 29

Artikel: Vermessung und Absteckung
Autor: Egger, Kurt / Breitenmoser, Peter / Walser, Felix
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79010

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: 09.12.2025

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

ladenen Wässern führt die Mineralneubildung mit löslichen Bestandteilen des Zementsteins oder das Auskristallisieren von Salzen zum Aufsprengen des Betons.

- Versinterung: Hohe Calcium- und/oder Magnesiumcarbonatfrachten des Wassers, die sich beim Kontakt des Bergwassers mit dem Beton unter Umständen noch weiter erhöht haben, führen mit fortschreitender Ausgasung der Kohlensäure aus dem Wasser zu Sinterbildung in den Fliesswegen des Wassers.
- Korrosion: Stark chloridbefrachtete Wässer fördern die Armierungskorrosion mit den allgemein bekannten Folgen.
- Ausgasungen: Methan, Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff sind die wichtigsten im Bergwasser löslichen Gase. Infolge der hohen Ventilationsraten im Tunnel stellen diese im Bergwasser allfällig gelösten Gase in der Regel keine Gefährdung für den Bau dar. Methan und Kohlendioxid werden für den Tunnelbau dann zu Gefahrenquellen, wenn sie in porösen Gesteinen gespeichert sind.

Bergwasser am Vereinatunnel

Die Zusammensetzung aller angetroffenen Wässer am Vereinatunnel wird routinemässig untersucht. Damit ist sichergestellt, dass allfällige Massnahmen zur Vermeidung von Schäden durch das Bergwasser unverzüglich eingeleitet werden können. Für die Interpretation der Resultate ist die Grössenordnung und Tendenz der Messwerte entscheidend, da sich der Einzelwert durch verschiedene Einflüsse in einem gewissen Streubereich ändern kann.

Die gemessenen Sulfatgehalte zeigen beispielhaft eine deutliche Abhängigkeit von den durchfahrenen Gebirgsformationen (1). In den beiden Baulosen des Nordabschnitts T2 und T4b, die durch Sedimentdecken (Aroser Schuppenzone, Schaflägerzug) fahren, sind in den Wässern je nach Schichtpaketen deutlich unterschiedliche Sulfatgehalte zu finden. Das bedeutet aber auch, dass die in den einzelnen Bereichen anstehenden Bergwässer nicht miteinander in Verbindung stehen.

Mit Erreichen der Gesteine der Silvretta-Decke sinkt der Sulfatgehalt der Wässer auf Werte in der Grössenordnung, die im Südlos der Vereinabaustelle seit Beginn der Vortriebsarbeiten gemessen wurden. Bei der weiteren Bestimmung der Ionen zeigt sich, dass der Grossteil der Sulfate an das Natrium gebunden sind. Der Calcium- und Magnesiumgehalt sowie der Chloridgehalt des Wassers sind gering. Die Karbonathärte des Wassers schwankt im unteren Bereich bis 3.5 °dH, der als sehr weiches bis weiches Wasser klassifiziert wird. Die Gefahr von Sinterbildung besteht daher praktisch nicht.

Die Chlorid-Gehalte sind mit maximal 10 mg/l als sehr gering, und daher als nicht aggressiv, einzustufen. Im Südbaulos wurde in einem Bereich von rund. 600 m Länge ein erhöhter Gehalt an Sulfid im Wasser nachgewiesen. Methangas wurde bisher nicht angetroffen.

Adresse des Autors:
Volker Wetzig, Dipl.-Ing. (TU), VersuchsStollen Hagerbach AG, Rheinstrasse 4, 7320 Sargans

Kurt Egger, Peter Breitenmoser und Felix Walser, Chur

Vermessung und Absteckung

Der Vermessung stellt sich die Aufgabe, die beiden Vortriebe von Klosters Selfranga und von Lavin so zu steuern, dass sie sich beim Durchschlagspunkt innerhalb festgelegter Fehlergrenzen treffen. Die Vermessung schafft die Grundlagen, welche die Angriffspunkte in Lage und Höhe zueinander in Verbindung bringt und ist für die projektgenaue Absteckung der Stollenachsen verantwortlich.

Dank der Entwicklung neuer Messtechniken in den letzten Jahren, wie elektrooptischer Distanzmessung, Azimutbestimmung mit Kreiseln, Lagebestimmung mittels Satellitengeodäsie oder Global Positioning System (GPS) sowie dem Geoidmodell Gurtner können die stark gestiegenen Anforderungen an die Absteckungsgenauigkeiten langer Tunnelbauten erheblich gesteigert werden. Zum Zeitpunkt der Ausschreibung der Vermessungsarbeiten Anfang 1987 war jedoch die Satellitengeodäsie noch nicht so zuverlässig und genau wie heute, dass man sich ohne anderweitige Absicherung voll hätte darauf verlassen können. Dazu kamen Probleme mit der kleinen Zahl der zur Verfügung stehenden Satelliten sowie bei der Transformation von GPS-Koordinaten in das für unsere Zwecke verwendete Landeskoordinatensystem. Die damals gewählte Lösung entsprach dem Stand der Technik und ist heute durch die inzwischen entwickelten Instrumente und Methoden teilweise überholt.

Grundlagenvermessung

Die vorhandene Landestriangulation (LV03) genügt den Anforderungen für die Absteckung eines langen Tunnels nicht, eine genaue Grundlagenvermessung ist für die Steuerung der Vortriebe jedoch unerlässlich. Die Lage und Höhe der Portalpunkte und die Orientierung im Bereich der Portale muss zwangsfrei, zuverlässig und in einem homogenen Bezugssystem vorhanden sein. Die für die Absteckung des Vereinatunnels verwendete Grundlagenvermessung geht aus (1) hervor.

Netzplan

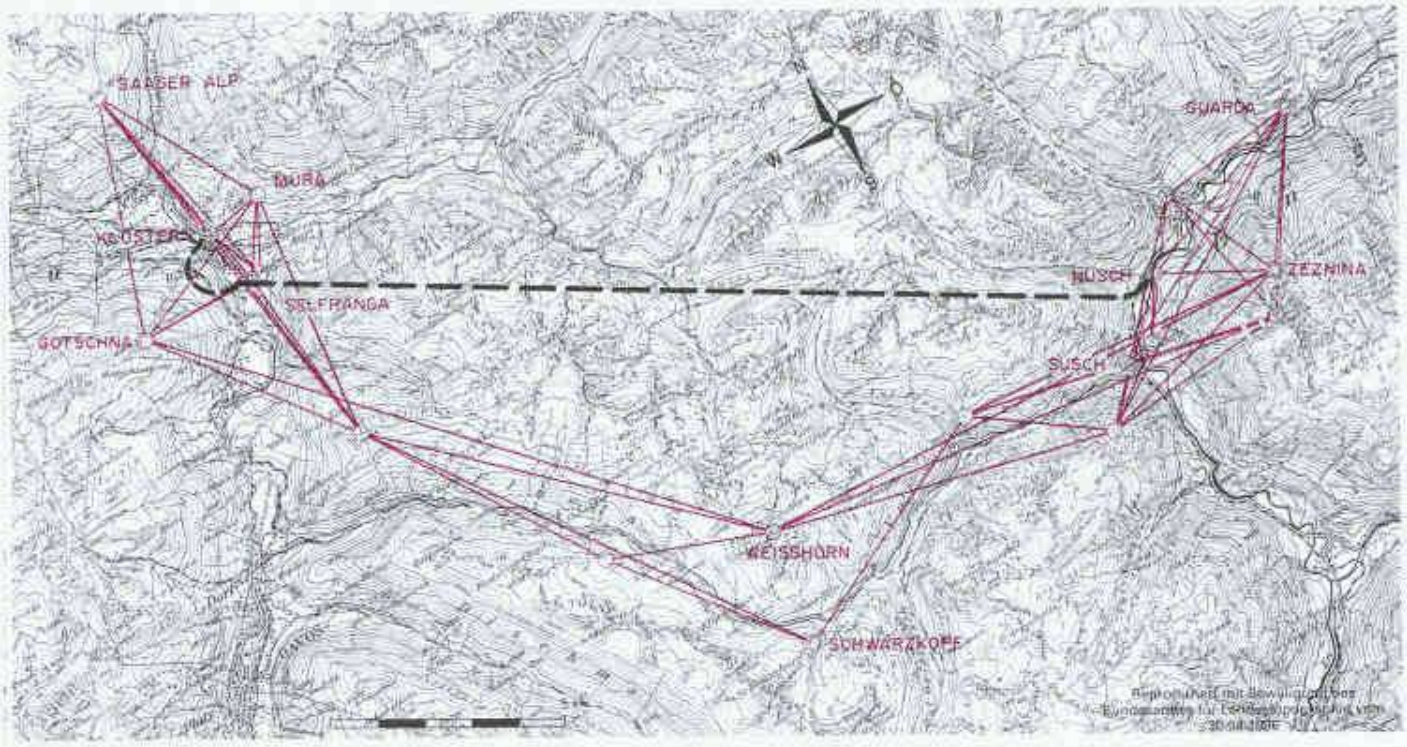
Die vorgeschlagene Grundlagenvermessung besteht aus Triangulation/Polygonzug, Nivellement und GPS-Messungen, und zwar aus:

- Portalnetz Klosters
- Polygonzug zwischen dem Netz Klosters und dem Netz Unterengadin
- Portalnetz Nusch im Unterengadin

Die Portalnetze sind so konzipiert, dass die Lotabweichungen weitgehend kompensiert werden. Die GPS-Messungen erfolgten auf je drei Stationen im Teilnetz Klosters und im Teilnetz Unterengadin sowie auf dem Punkt Schwarzkopf. Die Portalnetze wurden an das Landesnivellement angeschlossen.

Versicherung und Signalisierung

Zehn Punkte der Grundlagenvermessung sind mit bestehenden Punkten der Landesvermessung identisch. Die Neu-



1
Netzplan

punkte wurden zentrisch durch einbetonierte Eisenröhrchen versichert. Bei allen Punkten wurde zusätzlich ein Stationsbolzen für das Aufstellen der Stative versichert, und die Exzenterelemente wurden bestimmt. Das ersparte das Ab- und Aufbauen der Signalisierung während der Messung. Die Signalisierung erfolgte mit dem üblichen Typ von rot/weissen oder gelb/schwarzen Stangensignalen (2).

Messungen

Die Messung der Triangulation erfolgte im Sommer 1988 bei nicht besonders günstigen Witterungsverhältnissen (Dunst, Nebel, Wolken). Für die Winkelmessungen gelangte ein Informatik-Theodolit mit automatischer Registrierung zum Einsatz. Distanzen wurden mit einem Präzisions-Distanzmesser (Mekometer MF5000) gemessen. Selbstverständlich wurden die atmosphärischen Daten auf Stations- und Zielpunkten erhoben.

Die Winkel wurden auf die Stangensignale, die Distanzen auf die Stationsbolzen gemessen, was allerdings eine grosse Messequipe, genügend Transportmittel und eine ausgeklügelte Logistik erforderte.

Die GPS-Messungen wurden durch das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ im Rahmen des Diplomvermessungskurses 1988 durchgeführt. Zum Einsatz kamen sechs Empfänger in vier Sessions von je rund drei Stunden Dauer. In jeder Session wurden jeweils alternierend sechs der insgesamt sieben GPS-Punkte beobachtet.

Die Messung der Anschlussnivellemente erfolgte im Anschluss an die übrigen Messungen.

Auswertungen

Die Koordinatenberechnung der Triangulation erfolgte als freie, dreidimensionale Netzausgleichung mit anschliessender Helmerttransformation (drei Transformationsfixpunkte) und den festen nivellierten Höhen der Punkte Klosters und Nusch. Die so erhaltenen Koordinaten weisen mittlere Fehler von max. 15 mm auf.

In die Auswertung der Triangulation wurden die GPS-Beobachtungen als dreidimensionale Koordinatendifferenzen mit einem mittleren Fehler (a priori) von ±6 mm eingeführt, was zwingend die Einführung von Lotabweichungen erforderte. Sie wurden aus gegenseitigen Höhenwinkeln bestimmt, erreichen hohe Werte (bis 50") und sind weder sehr genau noch zuverlässig. Die Unterschiede zwischen den Koordinaten dieser Gesamtausgleichung und dem Ausgleich der Triangulation erreichten in der Lage Werte von im Durchschnitt 25 und im Maximum 50 mm. In der Höhe waren diese Differenzen wesentlich grösser und erreichten Maximalwerte von 270 mm. Es stellte sich somit die Frage, mit welchen Koordinaten der Vereinatunnel nun abgesteckt werden sollte.

Das Ziel unserer Bemühungen ist ein genauer und zuverlässiger Durchschlag des Vereinatunnels. Die damals angestellten Berechnungen mit und ohne Kreisel-azimute führten zu den folgenden vereinfachten Schlussfolgerungen:

- bei einer Absteckung ohne Kreiselazimute ergibt die Ausgleichung Triangulation den genaueren Durchschlag
- bei einer Absteckung mit Kreiselazimuten und der Gesamtausgleichung spielen die Lotabweichungen die entscheidende Rolle, und zwar sowohl oberirdisch im Grundlagennetz wie unterirdisch im Tunnel

Da zu den damaligen Zeiten genaue Lotabweichungen (± 3") nur mit grossem Aufwand oder gar nicht bestimmt werden konnten, schien es uns zweckmässiger, die bekannten Methoden der klassischen Geodäsie für die Grundlagenvermessung und die Absteckung anzuwenden und auf die modernen Methoden von GPS und Azimuten zu verzichten.

Absteckung

Die Vermessungsarbeiten beim Tunnelbau sind ein kleiner, aber wichtiger Teil im komplexen Organigramm der Bauorganisation. Es handelt sich dabei um Absteckungsarbeiten für die Bedürfnisse der Unternehmungen, Kontrollen, die das Verhalten des Bauwerkes überwachen, und um unabhängige Vortriebskontrollen. Vermessungsaufgaben für die Unternehmung sind in der Regel sofort zu befriedigen. Ein Unterbruch im Fortschritt der Bauarbeiten ist sehr kostspielig, da teures

2
Signalisierung der Triangulationspunkte

Fachpersonal und Maschinen stillgelegt werden. Ob die Unternehmung einen eigenen Vermessungsdienst aufbaut oder ob sie die Dienste eines lokalen Vermessungsbüros in Anspruch nimmt, liegt in ihrer Entscheidung, wird aber stark vom Umfang der zu bewältigenden Vermessungsaufgaben beeinflusst. Beim Zugwald- und dem Vereinatunnel mit TBM-Vortrieb entschied sich der Unternehmer für einen eigenen Vermessungsdienst. Beim Bau jedes Bauwerks können Phänomene auftreten, die eine mehr oder weniger intensive Überwachung bedingen. Beim Tunnelbau sind dies unter anderem Hang- und Stützmauerüberwachungen im Portalbereich sowie die Kontrolle des Tunnelprofils. Für die Überwachung im Portalbereich sind oft geodätische Verfahren nötig, die durch einen entsprechend ausgerüsteten Vermessungdienst oder durch einen bestellten Spezialisten ausgeführt werden. Die Kontrolle der Tunnelprofile kann mit relativ einfachen Mitteln (Nivellement, Konvergenzmessungen) durch die Bauleitung oder einen externen Fachdienst durchgeführt werden.

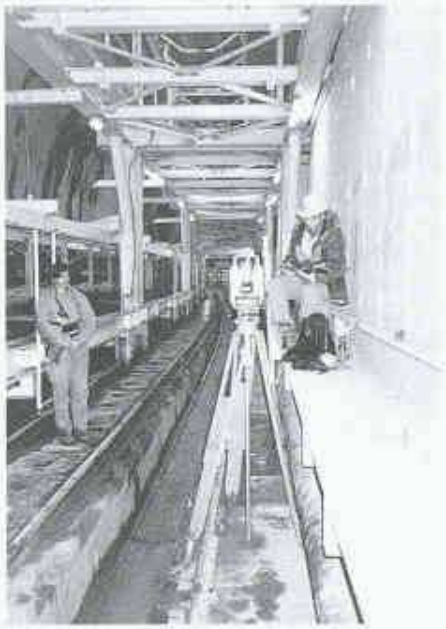
Die eigentliche Vortriebsabsteckung wird in der Regel durch den Unternehmer oder einen von ihm beauftragten Vermesser durchgeführt. Diese Arbeiten erfolgen grösstenteils unter Betrieb und damit unter sehr ungünstigen Verhältnissen: kurze Anschlussvisuren, Messunterbrüche, ungünstige Refraktionsverhältnisse etc. Es ist daher nötig, dass die Vortriebsrichtung unter besseren Verhältnissen kontrolliert wird. Ein vom Bauherrn bestelltes, unabhängiges Vermessungsbüro kontrolliert bei den sogenannten Hauptkontrollen (3) die Vortriebsrichtung und liefert die Informationen über allenfalls nötige Korrekturen.

Die Messbedingungen in einem Stollen oder Tunnel sind nie ideal. Um möglichst gute Messbedingungen zu erhalten ist es nötig, dass der zu kontrollierende Tunnelabschnitt frei von störenden Wärmequellen (Generatoren oder Maschinen) und Staub ist. Im weiteren sollten lange Anschlussvisuren möglich sein. Es liegt auf der Hand, dass solche Bedingungen nur mit Betriebsunterbrüchen oder bei reduziertem Betrieb geschaffen werden können. Bei konventionellen Vortrieben ruht der Vortrieb in der Regel über das Wochenende, womit in der Regel genügend Zeit für die Durchführung der Haupt- und Vermessungskontrollen zur Verfügung steht. Beim Zugwaldtunnel, beim konventionellen Vortrieb im Vereina Nord (bis km 2) und beim Vereina Süd ist dies der Fall. Ganz anders sind die Verhältnisse beim TBM-Vortrieb im Vereina Nord (ab km 2). Hier wird im Drei-Schicht-Betrieb an sieben Tagen in der Woche gearbeitet. Für die Durchführung der Hauptkontrollen müsste somit, wie vertraglich vereinbart, der Vortrieb für drei bis vier Stunden unterbrochen werden. Da jedoch die Unternehmung in ihrem Organigramm jeden Morgen eine rund fünfstündige Unterhaltsschicht einplant, bietet sich diese für die Durchführung der Hauptkontrollen an. Dies ist eine für diese Baustelle optimale Lösung, die jedoch auch beiden Seiten erschwerende Randbedingungen auferlegt:

- Die Unternehmung kann die entsprechende Unterhaltsschicht nur beschränkt nutzen, da Transporte von Material und Personal während der Hauptkontrollen nicht möglich sind.
- Die Hauptkontrollen, inkl. Ein- und Ausfahrt, sollten in der vorgegebenen Zeit erledigt sein, was hohe Anforderungen an Organisation und Durchführung der Vermessungsarbeiten stellt.

Prinzip der Hauptkontrollen

Aufgrund der langjährigen Erfahrung der beauftragten Vermessungsfachleute werden die Messungen bei den Hauptkontrollen in der Tunnelachse durchgeführt. Mit dieser Methode minimieren sich die Einflüsse der Seitenrefraktion, was neueste Untersuchungen bei der Absteckung des Kanaltunnels wiederum bestätigt haben. Zu diesem Zweck werden in regelmässigen Abständen Hauptpunkte in Achsnähe mit zusätzlichen vier Rückversicherungen an den Tunnelwänden versichert. Die Abstände im geraden Tunnel



3
Vereina Nord, Kontrollpunkt im Bereich des Nachläufers

betragen üblicherweise rund 500 m. In Kurven müssen die Abstände soweit verringert werden, dass ein minimaler Abstand der Polygonseite (Visurlinie) von 0,5 m von der Tunnelwand gewährleistet bleibt. Die Versicherung der Hauptpunkte in Achsnähe ist zwar für die Hauptkontrollen ideal, für die Absteckungsarbeiten des Unternehmers unter Betrieb jedoch eher ungünstig. Zusätzliche Punkte am Tunnelrand oder auf Konsolen an den Tunnelwänden sind nötig, die vom Vermesser des Unternehmers versichert und auch bestimmt werden. Die Höhenbestimmung der Hauptpunkte erfolgt durch gegenseitige Distanz- und Höhenwinkelmessung, die beim Vereinaprojekt durch ein technisches Nivellement kontrolliert wird.

Durchschlagsgenauigkeiten

Wenn man in der Ausgleichung der Triangulation die Absteckung mit je einem Vektor zwischen Portalpunkt und Durchschlagspunkt simuliert, erhält man den mittleren Durchschlagsfehler der Triangulation (4, Kolonne 1). Dazu kommt nun der Anteil der Absteckung am mittleren Durchschlagsfehler. Die Werte in Kolonne 2 erhält man unter der Annahme von

4
Durchschlagsgenauigkeit

	1 Triangulation [mm]	2 Absteckung [mm]	3 Total [mm]	4 gefordert [mm]
quer	50	120	130	150
längs	20	13	24	60
Höhe	7	22	23	50

500 m langen Polygonseiten und mittleren Beobachtungsfehlern. Die Superposition dieser Anteile Triangulation und Absteckung ergeben den zu erwartenden totalen mittleren Durchschlagsfehler gemäss Kolonne 3, so dass die geforderte Durchschlagsgenauigkeit im Sinne eines mittleren Fehlers (Kolonne 4) eingehalten ist.

Der kleine Anteil der Triangulation zeigt wiederum die geringe Bedeutung der Grundlagenvermessung. Die Genauigkeit des Durchschlags wird im wesentlichen durch die Tunnelabsteckung bestimmt.

Zugwaldtunnel

Bei der Absteckung des Zugwaldtunnels waren zwei Hauptprobleme zu lösen: Das Tunnelportal und die ersten 150 m befinden sich im instabilen Gotschnahang, und der enge Radius sowie das installierte Förderband auf der Kurveninnenseite erlaubten nur kurze Punktabstände von 80–100 m. Wegen des Gotschnahangs mussten die Kontrollen immer wieder und so lange, bis genügend Punkte in gutem und anstehendem Fels vorhanden waren, vom Bahnhof Klosters auf der gegenüberliegenden Seite des Talflusses Landquart erfolgen.

Die kurzen Zielweiten und die in Kurven unmöglichen Kontrollmessungen durch punktübergreifende Visuren wirkten sich ungünstig auf die Genauigkeit aus. Der erreichte Durchschlagsfehler von 3,0 cm quer, 3,3 cm längs und 1,9 cm in der Höhe erscheint für diesen rund zwei Kilometer langen Zugwaldtunnel im ersten Moment relativ hoch. Zieht man jedoch die grosse Anzahl von Polygonwinkeln (25) mit in Betracht, ist dies ein sehr gutes Resultat, d.h. der Fehler pro Brechungswinkel ist kleiner als 0,1 mgon.

Vereinatunnel

Beim Vereinatunnel sind folgende vermessungstechnische Probleme zu lösen:

- Enger Einfahrtsradius mit anschliessender langer Gerade beim Portal Süd in Susch
- Ungünstige Anschlusspunkte beim Portal Selfranga im Norden
- Zeitdruck bei den Hauptkontrollen beim TBM-Vortrieb im Norden

Wie einleitend erwähnt, verändert sich der Stand der Technik laufend, und es ist die Aufgabe des verantwortungsvollen Ingenieurs, den Bauherrn auf neue Möglichkeiten und deren wirtschaftliche Konsequenzen hinzuweisen. Aufgrund der Fortschritte im Zusammenhang mit Kreiselazimuten und den Geoidmodellen für die Lotabweichung werden wir dem Bauherrn als zusätzliche Massnahme für höhere Genauigkeit und Zuverlässigkeit die Beobachtung von zwei Kreiselazimuten in den beiden Vortrieben vorschlagen.

Schlussbemerkungen

Der Einsatz moderner Tunnelbohrmaschinen und die hohen Reisegeschwindigkeiten moderner Eisenbahnlinien bedingen immer höhere Anforderungen an die Genauigkeit der Achsgeometrien und damit auch an die Durchschlagsgenauigkeit. Moderne Instrumente, zusammen mit dem notwendigen Know-how der Vermessungsfachleute erlauben es, die geforderten Bedingungen einzuhalten. Andererseits erschweren die modernen Baumethoden die Arbeit des Vermessers. Im Vordergrund stehen weniger die technische Realisierbarkeit eines Projekts, als vielmehr Fragen des Umweltschutzes, der Politik und der Akzeptanz in der Bevölkerung. Die Ingenieure sind dann gehalten, die komplexen Vorgaben in ein realisierbares Projekt umzusetzen. So hat auch der Vermessungsfachmann immer anspruchsvollere Probleme zu lösen, die aber seine Arbeit durchaus bereichern. Wenn der Vermessungsfachmann sein Können und seine Mittel überdies so einsetzt, dass die noch kostspieligeren Vortriebsequipen und -maschinen kaum gestört werden, kann er wesentlich zum finanziellen Erfolg eines Projektes beitragen.

Adresse der Verfasser:
Kurt Egger, Ing. ETH, *Peter Breitenmoser*, dipl. Ing. ETH, *Felix Weber*, dipl. Ing. ETH, Schneider Ingenieure AG, Rossbodenstr. 15, 7000 Chur