

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

Band: 57 (1959)

Heft: 5

Artikel: Stollentriangulation und Absteckung

Autor: Schneider, Walter

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-215228>

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: 18.01.2026

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

erfolgt mit roter Tusche oder einem hierfür geeigneten Kugelschreiber. In gleicher Weise wird die übrige Beschriftung und die Numerierung ausgeführt, welche auf jeder Vergrößerung mit 1 oben links beginnt und unten rechts endet. Um die Parzellen mit gleichen Nummern auf den verschiedenen Vergrößerungen unterscheiden zu können, wird die Nummer der betreffenden Vergrößerung der Parzellennummer vorangestellt. Es bedeutet demnach 3-27: Parzelle Nr. 27 auf Vergrößerung Nr. 3.

Die Hauptunterschiede zwischen den Liegenschafts- und Servitutenregistern und dem eidgenössischen Grundbuch bestehen darin, daß den Liegenschafts- und Servitutenregistern kein Planwerk, welches amtlichen Charakter hat, zugrunde liegt und daß das Prinzip des öffentlichen Glaubens, welches einen der wichtigsten Grundsätze des Eidgenössischen Grundbuches bildet, weder auf die Liegenschafts- und Servitutenregister noch auf den ihnen zugrunde liegenden Photokataster Anwendung findet.

Im besonderen will man mit dem Photokataster keinen Grenzverlauf und kein Maß gewährleisten, sondern lediglich die Lage und die ungefähre Form der einzelnen Parzellen sowie – durch ständige Nachführung – die Veränderungen derselben festhalten.

Für die Grundbuchführung in Graubünden bedeutet der Photokataster einen nicht mehr wegzudenkenden Fortschritt, indem dort, wo er und gestützt auf ihn die Liegenschafts- und Servitutenregister erstellt worden sind, nunmehr mit Bezug auf die Rechte und Lasten an Grundstücken klare und übersichtliche Verhältnisse vorhanden sind. Für den im Lesen geometrischer Pläne in der Regel unkundigen Grundeigentümer hat der Photokataster sogar den Vorteil der besseren Orientierungsmöglichkeit. Es wird sich im übrigen zeigen, ob der Photokataster, wenn er mit der erforderlichen Genauigkeit erstellt und nachgeführt wird, nicht auch für die Feststellung und Auswertung des alten Besitzstandes in Güterzusammenlegungsgebieten gute Dienste leisten kann.

Stollentriangulation und Absteckung

Von Walter Schneider, Ingenieur, Chur

Im Jahre 1951 ist in Graubünden in größerem Umfang mit dem Ausbau der Wasserkräfte begonnen worden. Als erste kamen die Kraftwerke Zervreila zur Ausführung. Sie stehen heute unmittelbar vor der Vollendung. In Ausführung begriffen sind die Bergeller Kraftwerke, die Kraftwerke Vorderrhein, diejenigen von Valle di Lei-Hinterrhein und die Misoxer Kraftwerke. Jede dieser Kraftwerksgruppen, welche das Wasser in 2 bis 4 Stufen ausnützen, weisen Stollensysteme von 30 bis 50 km Länge auf, seien es Freispiegel- oder Druckstollen, Zugangsfenster oder Druckschächte.

Die Absteckung solcher Stollen, von denen die größten ohne dazwischenliegende Fenster 9 beziehungsweise 11 km lang sind, verlangt einwandfreie trigonometrische Unterlagen und Höhenangaben. Die

Triangulation I.–IV. Ordnung liegt in Graubünden lückenlos vor. Da meinem Büro die Aufgabe gestellt war, für die Mehrzahl der erwähnten Kraftwerke die trigonometrischen Grundlagen zu beschaffen und die Absteckung auszuführen, möchte ich versuchen, im Rahmen dieser Sondernummer von Graubünden unsere Erfahrungen darzulegen.

A. Lagebestimmung vermittelt Triangulation

Es liegt nahe, zur Bestimmung der Lage der Achspunkte der Stollenangriffsstellen das Landestriangulationsnetz I. bis IV. Ordnung zu verwenden. Im Vertrauen auf die Qualität des amtlichen beziehungsweise amtlich verifizierten Triangulationswerkes erscheint es auf den ersten Blick ohne weiteres angängig, diese Achspunkte zum Beispiel vermittelt genauer Polygonierung oder Kleintriangulierung aus den nächstliegenden Fixpunkten zu bestimmen. Es handelt sich bei der Stollenvermessung indessen nicht nur darum (wie etwa bei der Grundbuchvermessung), die relative Lage im örtlichen Fixpunktnetz festzustellen, sondern die exakte Beziehung zwischen weit auseinanderliegenden Achspunkten zu schaffen. Die rationell erscheinende Methode der Einmessung von Achspunkten einer Baustelle auf die vorhandenen umliegenden Fixpunkte scheitert in der Praxis aus verschiedenen Gründen:

a) Die Qualität der Triangulation IV. Ordnung ist in Graubünden nicht homogen; einzelne Teile sind vorzüglich, andere genügen gerade noch als Grundlage für die Grundbuchvermessung, Instruktionsgebiet III, nicht aber für eine Stollenvermessung.

b) Anfangs- und Endpunkt von Überleitstollen von Tal zu Tal liegen oft in verschiedenen Sektionen der Triangulation IV. Ordnung. Die Nahtstellen von Triangulationssektionen weisen möglicherweise Unstetigkeiten auf. So stellten wir beispielsweise zwischen Peilertal (Vals) und Safiental im Gebiete der Kraftwerke Zervreila eine Verdrehung bei der Sektionen gegeneinander im Ausmaß von 30 bis 40^{ec} fest. Als Ursache ist die Rutschung eines Triangulationspunktes III. Ordnung zu betrachten. Diese Festpunktverschiebung ist bei der Bearbeitung der betreffenden Sektion nicht bemerkt worden. Der Mangel hätte einen Durchschlagsfehler von etwa 30 cm zur Folge gehabt.

c) In gewissen Gebieten, besonders im Bereich des Bündner Schiefers, kommen örtliche oder ausgedehnte Hangrutschungen mit linearen Bewegungen von 1 bis 10 cm pro Jahr und mehr vor, welche die Triangulation für genauere Zwecke unbrauchbar machen. Triangulationspunkte auf hervorstehenden, im übrigen sehr solid erscheinenden Felsblöcken in Hängen sind oft durch das Kriechen der winterlichen Schneedecke talwärts verschoben.

Die Unsicherheiten und Zwänge, die entstehen, wenn Festpunkte aus den erwähnten Gründen ihre Lage verändert haben oder zu wenig genau bestimmt sind, und der Arbeitsaufwand, der notwendig wird, um den fehlerhaften Punkt zu erkennen und den Mangel zu beheben (man denke an den langen Bündner Winter, der Nachmessungen in höhern Lagen nicht

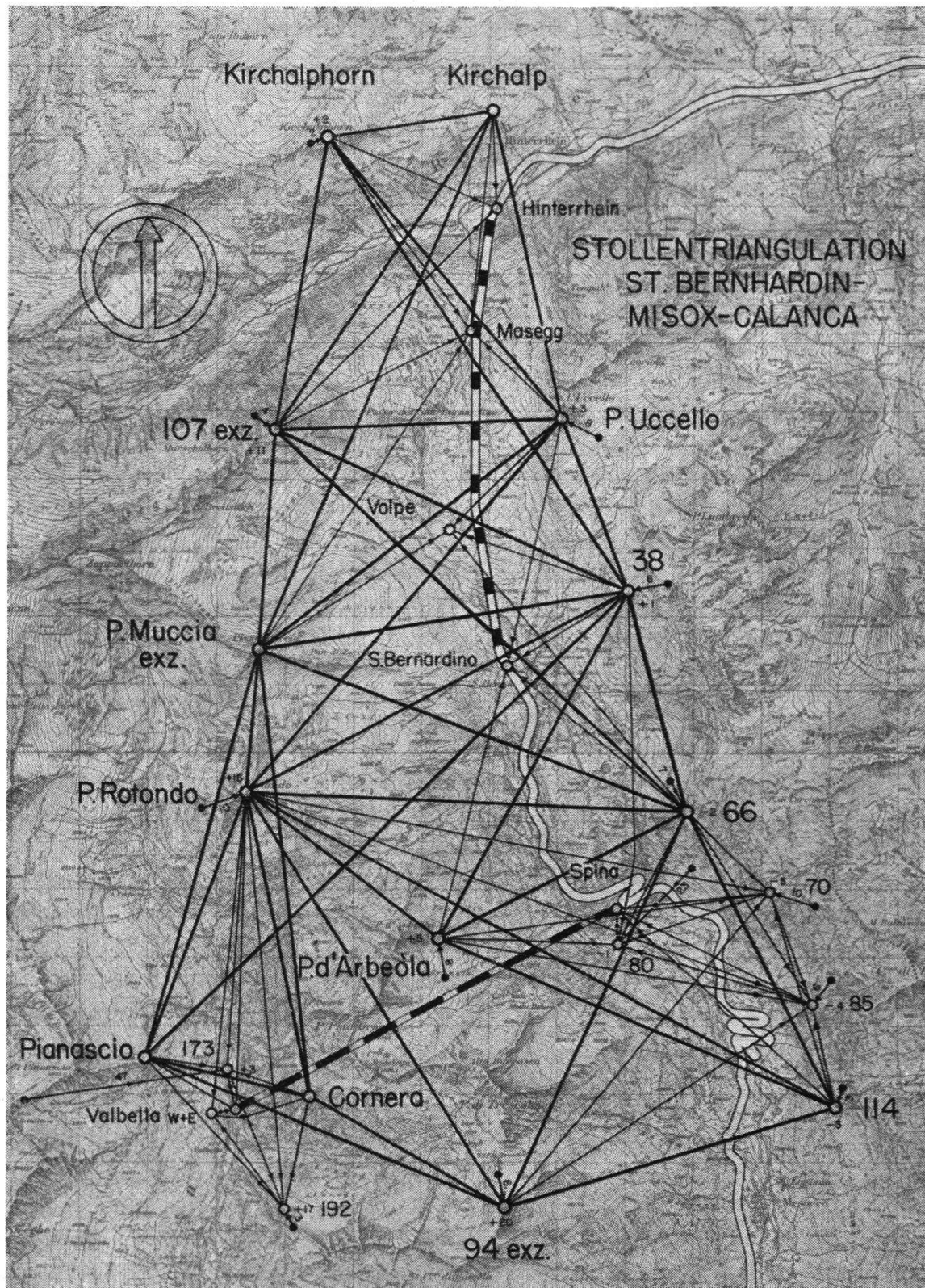
zuläßt), haben uns sehr bald veranlaßt, von vornherein ein übergeordnetes Triangulationsnetz über das ganze Kraftwerksgebiet unter Verwendung bestehender Triangulationspunkte, tunlichst solche höherer Ordnung, anzulegen. Die Neumessung eines solchen Grundnetzes und dessen Verdichtung mit möglichst wenig Zwischenpunkten zur lagemäßigen Bestimmung der Stollenangriffsstellen (Fenster, Stollenportale, Zentralen usw.) hat folgende Vorteile:

- Einzelne mangelhaft bestimmte oder gerutschte bestehende Triangulationspunkte können als Einzelpunkte neu eingeschaltet werden.
- Zeigen sich Zwänge über Teile oder das ganze verwendete Triangulationssystem, besteht immer die Möglichkeit, durch Mehrpunkteinschaltung, eventuell durch Ausgleichung als freies Netz eine homogenere Absteckungsgrundlage zu schaffen.
- Die lagemäßige Beziehung der Portale langer Stollen wird verbessert, eine sogenannte Azimutkontrolle ermöglicht, und zudem können die Höhenangaben auf trigonometrischem Wege geprüft werden.
- Die Zahl der im Durchschnitt benötigten trigonometrischen Punkte, berechnet auf eine Baustelle, wird eher kleiner, als wenn man, wie eingangs geschildert, an örtliche Bestimmungen denkt.

Das im folgenden dargelegte Beispiel der Stollenvermessung San Bernardino–Miso–Calanca zeigt das theoretisch einwandfreiste Verfahren, wie es von uns unter gutachtlicher Mitwirkung von Herrn Prof. Dr. F. Kobold, bis jetzt angewendet worden ist. Es sei aber festgestellt, daß Näherungslösungen auch zum Ziele führen, unter Umständen rationeller sind und den Genauigkeitsanforderungen von seiten der Projektverfasser dabei vollständig entsprechen. Es ist Aufgabe des Vermessungsingenieurs, auf Grund gestellter Anforderungen zu entscheiden, welches Meß- und Berechnungs- (beziehungsweise Ausgleichungs-) Verfahren im Einzelfalle zur Anwendung gelangen soll.

Trigonometrische Höhenmessung

Es sei zugegeben, daß wir mit einigen Seufzern beim ersten Kraftwerksbau Zervreila (Vals)–Safiental–Rothenbrunnen darangingen, Höhenfixpunkte bei den Baustellen vermittelt Präzisionsnivelements an das kantonale beziehungsweise eidgenössische Nivellement des Valser- und des Safientales sowie des Domleschges anzuschließen, darunter solche mit mehr als 500 m Höhendifferenz. Bei diesem Werk haben wir zusätzlich eine trigonometrische Kontrolle der nivellierten Höhendifferenzen vorgenommen. Zwei trigonometrische Höhenzüge über Triangulationspunkte IV. Ordnung (1 bis 2 km Entfernung von Signal zu Signal zwischen Peiler- und Safiental) ergaben Abweichungen von den nivellierten Höhen von 2,5 beziehungsweise 4 cm mit demselben Vorzeichen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Nivellemente ins Valsertal (Peil) und Safiental freie Enden aufweisen. Das Nivellement nach dem Durchschlag des 6,5 km langen Überleitungsstollens ergab im Vergleich mit den nivellier-



ten Höhen der Stollenportale einen Fehler von 3,3 cm. Hätte man die trigonometrisch bestimmte Höhendifferenz (Mittel zweier Höhenzüge) eingeführt, wäre nur eine Differenz von 0,3 cm entstanden. Ähnliche Ergebnisse ergaben sich bei den andern Teilen des Stollennetzes der Kraftwerke Zervreila.

Solche ausgezeichnete Erfahrungen mit der trigonometrischen Höhenbestimmung haben uns veranlaßt, bei den folgenden Vermessungen über Tag für Kraftwerke beinahe ausschließlich nur noch auf trigonometrischem Wege Höhen zu bestimmen. Sie wurden unter anderm beim Kraftwerk Vorderrhein bestätigt, wo das gemessene grundlegende Netz von Tavanasa bis nach Sedrun (Val Nalps) reicht (etwa 30 km). Der an vier Stellen (Tavanasa, Somvixer Tal, Curaglia und Sedrun) vorgenommene Kontrollvergleich mit nivellierten Höhen ergab gegenüber den ausgeglichenen Werten des Hauptnetzes (mit Seitenlängen bis zu 10 km) und der örtlichen Anschlußnetze keine größeren Abweichungen als 4 cm. Beim Kraftwerk Hinterrhein verhielten sich die Differenzen in ähnlichem Rahmen.

Es darf somit festgestellt werden, daß die trigonometrische Höhenbestimmung der nivellitischen Methode in bezug auf Genauigkeit ebenbürtig ist, hingegen bedeutend weniger Arbeitsaufwand im Feld benötigt. Wegen der Lotstörungen ist allerdings Voraussetzung, daß die Höhenwinkel gegenseitig gemessen werden.

B. Stollen- und Bauabsteckung

Abgesehen von Verdichtungen der Stollentriangulationssysteme zum Beispiel für die Absteckung von Staumauern durch Kleintriangulierung, besteht die Aufgabe bei der Absteckung von Stollen, Zentralen, Wasserschlössern, Druckschächten und der Montage von Turbinen und Verteilleitungen vorwiegend darin, Polygonzüge großer Präzision gemäß den Projektplänen ins Gelände zu übertragen. Dabei besteht unter Tag keine andere Möglichkeit der Kontrolle, als die Messungen unabhängig zu wiederholen und den Durchschlag mit Geduld und Optimismus abzuwarten.

Die Genauigkeit der Polygonisierung muß durch den Vermessungsfachmann auf die Anforderungen für den betreffenden Werkteil abgestimmt werden. In der Praxis ergaben sich folgende Verfahrensregeln:

Für die Richtungsabsteckung

Zur Vermeidung von Zentrierfehlern, die bei kurzen Polygonseiten ins Gewicht fallen, wird prinzipiell mit Polygonausrüstungen mit Zwangszentrierung gearbeitet. Es werden diejenige der Firma Wild wie die der Firma Kern verwendet, wobei der Universaltheodolit T2 als robustes Instrument von meinen Mitarbeitern bevorzugt wird, während andererseits die Zentrierstative von Kern des raschen Aufstellens wegen wesentliche Vorteile bieten. Von den Kern-Theodoliten verwenden wir zur

Richtungsmessung je nach Aufgabe DKM1, DKRV und DKM3 (für große Distanzen). Bei schlechten Sichtverhältnissen im Stollen und großen Distanzen wird die Zielmarke mit Vorteil durch die offene, helle Flamme der Karbidstollenlampe ersetzt, welche mit dem optischen Lot des darüber aufgestellten Stativs zentriert wird.

Bei Richtungsübertragungen durch senkrechte Schächte hinauf, auf eine höher gelegene Stufe (zum Beispiel Wasserschloß), haben wir uns so beholfen, daß wir 4 bis 5 mit Gewichten beschwerte, im Schacht frei hängende Drähte von bekannten Fixpunkten eingemessen und auf dem gewünschten Niveau die Lage eines neuen Absteckungspunktes durch Rückwärtseinschnitt festgestellt und dazu eine Azimutübertragung auf die obere Achse vorgenommen haben.

Die normalerweise gleichmäßigen atmosphärischen Verhältnisse im Stollen ergeben bei geübten Beobachtern bei 2 bis 4 Richtungsmessungen mittlere Richtungsfehler von 2 bis 4^{cc}. Besondere Beachtung ist der Seitenrefraktion zu schenken. Sie tritt besonders bei den Fenster- und Stolleneingängen beim Übergang vom Licht in den Schatten beziehungsweise Dunkelheit des Stollens wie auch infolge der austretenden Ventilationsluft auf. Im Tunnelinnern ist Vorsicht am Platze: bei Stellen, wo Ventilations- oder Zugluft austritt, in der Nähe von Preßluftpumpen, im Bereiche von stäubenden Wassereinbrüchen und überall dort, wo die Visur nahe der Stollenwand vorbeiführt. Die Fixpunkte bei Tunnelbogen werden so angeordnet, daß die Visur mindestens 1 m Abstand von der Wand innehält. Die von uns festgestellte größte Seitenrefraktion hat 30 bis 40^{cc} erreicht.

Für die Distanzmessung

In schwachgeneigtem oder ebenem Gelände oder ebensolchen Stollen verwenden wir 50 m (eventuell kürzere) geeichte, mit 10 kg gestreckte Stahlmeßbänder, die eine rationelle Aufteilung der im Tunnel normalerweise 100 m aufweisenden Fixpunktabstände erlauben. Wir tolerieren im Stollen auf 100 m einen mittleren Distanzfehler von 0,5 cm. Die Eichung wird problematisch, wenn die Verhältnisse unter Tag derart sind, daß die Bandtemperatur nicht einwandfrei bestimmt beziehungsweise der Bandzug durch Reibung im Stollenschlick oder auf andere Weise nicht gleichmäßig wirken kann. In den Druckschächten mit 60 % und mehr Gefälle messen wir die Distanzen in Teilstücken von 60 bis 70 m mit dem selbst-reduzierenden DKRT der Firma Kern aufwärts und abwärts. Abgesehen davon, daß diese Messung bei den körperlich recht unangenehm empfundenen Steilvisuren schneller vor sich geht als mit einer 2-m-Basislatte, ist der Einfluß von Seitenrefraktion in den relativ engen Schächten praktisch ausgeschlossen. Für die Absteckung von Distanzen bei Kavernen und Zentralen im Freien, für die Montage von Rohr- und Verteilungen, Turbinen- und andern Achsen ist eine Genauigkeit von 2 bis 5 mm erforderlich. Bei schiefen Distanzen, zum Beispiel in Baugruben oder von Stockwerk zu Stockwerk, verwenden wir auf beschränkte Distanz die 2-m-Basislatte, im übrigen verglichene Stahlmeßbänder.

Für die Höhenmessung

Das Nivellement ist, weil einfach und rasch gerechnet, das übliche Verfahren. Das Zeiß-Opton-Nivellierinstrument erlaubt eine raschere Arbeitsweise. Unter Tag ist zu beachten, daß Fixpunkte in der Stollensohle sich unter dem Einfluß des Bergdruckes je nach geologischen Verhältnissen in 2 Monaten um wenige bis 30 mm heben können. Es ist zu empfehlen, in gewissen Abständen zusätzliche Höhenfixpunkte an der Stollenwand anzubringen, wo die vertikale Komponente des Bergdruckes weniger zur Wirkung kommt.

In den Schrägschächten wird die Höhe vermittels Höhenwinkels und gemessener Distanz bestimmt. Abzuklären wäre, welchem Gesetz die Refraktion in diesen steilen Röhren folgt.

C. Durchschlagsergebnisse

Für diejenigen, die sich mit Kraftwerksvermessungen befassen, sind die Stollendurchschläge Höhepunkte des Lebens, zeigt es sich doch in solchen Momenten, ob die äußere Vermessung einwandfrei ist und all die Mühe und Plackerei im Stollen drin das gewünschte Ergebnis zeitigt. Bei den bis heute erfolgten Stollendurchschlägen (gesamte Tunnellänge gegen 50 km, längster Stollen 6,5 km) ergaben sich Abweichungen der aufeinandertreffenden Stollenachsen, die etwa mit folgender Faustregel charakterisiert werden können:

Richtungsabweichung	1,5 bis 2,5 cm pro km
Längendifferenz	2,0 bis 3,0 cm pro km
Höhenabweichung	0,5 cm pro km

Detailabsteckungen großer Präzision für die Montage von Maschinen und Leitungen in Zentralen geben ebenfalls, obschon nicht von spektakulärer Wirkung, wenn die Schlußkontrolle stimmt, Anlaß zu Genugtuung über das Erreichte. Im übrigen ist die Absteckung solcher Bauwerke ein stetes Auf-der-Hut-Sein vor den einfachsten Rechen- und Ablesefehlern.

D. Die Stollentriangulation San Bernardino–Misox–Calanca

Im letzten Sommer haben wir im Auftrag des kantonalen Bauamtes Graubünden und der Misoxer Kraftwerke die trigonometrischen Messungen für die Absteckung des San-Bernardino-Autotunnels und des Wasserüberleitungsstollens Valbella (Calanca)–Spina (Misox) vorgenommen und in diesem Winter die notwendigen Berechnungen ausgeführt.

Wie im vorhergehenden dargelegt, wurde im Hinblick auf mögliche Unstimmigkeiten bei den vorhandenen Punkten IV. und höherer Ordnung ein flächenhaft ausgedehntes Hauptnetz im Bereich der beiden quer zueinander liegenden Tunnels ausgespannt. Es umfaßt 13 Hauptpunkte. Mit wenigen Zwischenpunkten sind die Fixpunkte bei den Stollen-

lenangriffsstellen lage- und höhenmäßig zu bestimmen. Total ergeben sich 26 Punkte oder 3,7 pro Angriffsstelle (siehe beiliegenden Netzplan).

Die Punkte sind mit dem normalen Signaltyp signalisiert. Die Signalbrettchen für die Höhenwinkelmessung sind in Schlitten am oberen Stangenende genau zentriert. Die Richtungen wurden in Sätzen (4 pro Station) mit dem DKM3-Theodolit der Firma Kern gemessen. Die Stationsausgleichungen ergaben an der gemittelten Richtung einen durchschnittlichen mittleren Fehler von $1,8''$. Die Höhenwinkel wurden in beiden Lagen je zweimal beobachtet. Die aus den Richtungsmessungen ermittelten Dreieckswinkelsummen ergaben 61 positive, 37 negative und 3 Nulldifferenzen, im Durchschnitt $10,8''$. Dies ist viel, rührt aber, wie sich später eindeutig ergab, von der Lotstörung bei den Hangpunkten her.

Nach Aufstellung des Abrisses, wo an 29 längeren Seiten Azimutreduktionen entsprechend der Projektion bis zu $4''$ angebracht worden sind, ist versucht worden, die vorhandenen Zwänge zu lokalisieren und zu beheben. Dabei stellten wir fest, daß die auf Hangpunkten gemessenen (innern) Richtungen bedeutend schlechtere fehlerzeigende Figuren aufwiesen als die von Gipfelpunkten aus auf sie gemessenen (äußern) Richtungen, was durch Lotabweichungen begründet ist.

Diese Methode des Suchens nach der Ursache der Zwänge führte nicht zum Ziele. Einwandfreie Resultate konnte nur ein Ausgleich des Hauptnetzes auf der als fest angenommenen Seite P. Rotondo–P. Uccello erbringen. Er wurde vermittelnd nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeführt. Die Beobachtungen wurden mit Gewichten entsprechend dem Zentrierfehler ($p \sim \sqrt{D}$) und der Lotabweichung versehen. Die Kombination beider Gewichte ergab:

Für die normale gute Visur	Gewicht 4
Distanz größer als 4 km mit Lotabweichung	Gewicht 2
Distanz kleiner als 4 km ohne Lotabweichung	Gewicht 2
Distanz kleiner als 4 km mit Lotabweichung	Gewicht 1

Die Auflösung der 22 Normalgleichungen übernahm die IBM in Zürich. Sie ergab Koordinatenverbesserungen bis zu 27 cm, die in Lage und Richtung darauf hinweisen, daß die Ausgangsbasis Rotondo–Uccello oder zumindest einer der Endpunkte mit Fehlern behaftet ist.

Der mittlere Richtungsfehler nach der Ausgleichung ergab $10,8''$ für die schlechteste Richtung ($p = 1$) und $5,4''$ für die normale gute Visur ($p = 4$).

Vermittels einer Helmert-Transformation wurde das ausgeglichene Netz in das bestehende Netz I. bis IV. Ordnung eingepaßt. Es mußte um 1,6 cm pro km verkleinert, um 10,1 cm verschoben und um $9,2''$ gedreht werden.

Anschließend sind die übrigen sekundären Netzpunkte einzeln oder doppelpunktweise nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet worden. Der hierbei erzielte mittlere Punktfehler betrug $m_y = \pm 14$ mm, $m_x = \pm 18$ mm, $m_r = \pm 6,1$ cm.

Die Lageabweichungen (Zahlen bedeuten cm) sind im beiliegenden Netzplan durch Pfeile dargestellt. Sie sind in der Regel kleiner als 10 cm. Punkt 173 ist mit aller Wahrscheinlichkeit um 47 cm gerutscht. Punkt 80 liegt auf einem großen Felsblock, der möglicherweise gegen den Berg gekippt sein könnte. Die übrigen benachbarten Punkte im südöstlichen Teil des Netzes zeigen relativ zueinander recht große Abweichungen, was zu Beginn der Rechnungsarbeit bereits bemerkt worden ist. Die Ausgleichung in einem Guß war also berechtigt und gibt ohne Zweifel die bessere Absteckungsgrundlage für den Überleitungsstollen Valbella-Spina.

Höhenberechnung

Über den San-Bernardino-Paß führt ein eidgenössisches Nivellement. Die Punkte Hinterrhein, Masegg, Volpe und San Bernardino sind durch kurze Anschlußnivellemente daran angeschlossen worden. Ein erstes Höhenausgleichsnetz, nördlich der Linie Pizzo Muccia-38 auf der Basis der erwähnten nivellitisch bestimmten Punkte ergab die Werte für die dort vorhandenen Hochpunkte. Ausgehend von einer provisorisch angenommenen Höhe von P. d'Arbeola, sind durch Ausgleichung dreier weiterer Höhennetze die vorläufigen Meereshöhen aller Punkte südlich der Linie P. Rotondo gefunden worden. Um die Verbindung zwischen nördlichem Höhennetz und den südlichen Netzen herzustellen, wurden alle dazwischenliegenden Höhendifferenzen ermittelt, entsprechende Gewichte eingeführt, worauf sich zeigte, daß die Meereshöhen im Süden um 5 cm vergrößert werden mußten. Die endgültigen Höhen beziehen sich also aufs Landesnivellement. Im Netzplan sind die Abweichungen gegenüber der Landestriangulation durch Zahlen (mit Vorzeichen) in Zentimeter angegeben.

Durchschlagsgenauigkeit

Aus der Ausgleichung des Hauptnetzes ergibt sich der mittlere Richtungsfehler des aus den erhaltenen Koordinaten ermittelten Azimutes Kirchalhorn-P. d'Arbeola zu $\pm 4,4^{\circ}$. Der parallel liegende Bernardino-tunnel dürfte voraussichtlich unter Berücksichtigung der Übertragungsfehler bei der Absteckung bei den Tunnelportalen und im Stolleninnern eine Richtungsabweichung an der Durchschlagsstelle von 15 cm ergeben. Der mittlere Distanzfehler zwischen den oben erwähnten Triangulationspunkten beträgt $\pm 7,5$ cm. Die im Stollen gemessene Länge wird wahrscheinlich, verglichen mit der gerechneten, um nicht mehr als 25 cm differieren. Für die Höhe ist ein Maximalfehler von 10 cm zu erwarten. Für den Überleitungsstollen Valbella-Spina der Misoixer Kraftwerke sind ähnliche Resultate vorauszusehen.