

Zeitschrift: Mensuration, photogrammétrie, génie rural
Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) =
Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF))
Band: 73-F (1975)
Heft: 3-4: Prof. Dr. F. Kobold zum 70. Geburtstag

Artikel: Tunneltriangulierung im Mittelgebirge
Autor: Hauer, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-227529>

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: 17.05.2025

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

Tunneltriangulierung im Mittelgebirge

F. Hauer, Wien

1. Aufgabenstellung und Vorarbeiten

Im Rahmen der Vorbereitungsarbeiten für den Bau der Tauernautobahn wurden mir durch die Salzburger Landesregierung u. a. auch die Triangulierungsarbeiten für fünf Tunnelbauten im Salzachtal übertragen. Im einzelnen handelte es sich dabei um die Durchörterung des Ofenauer Berges und der Hiefler Wand bzw. zu letzterer als Variante auch um die Anlage von Galerien längs der Kratzbergwand, weiter um die Durchfahrung des Brentenberges, des Zetzenberges und des Helbersberges. Während die Netzerkundung, Vermarkung und Beobachtung der letzten drei dieser zwischen Golling und Werfen liegenden Tunnel trotz starkem Geländebewuchs wegen ihrer Kürze nur wenig Hindernisse zu überwinden gaben, brachten die ersten beiden, die mit einer über die zwischen den Bergen tief eingeschnittenen Salzach führende Brücke unmittelbar aneinanderschliessen, im Zuge der Feldarbeiten eine Reihe erheblicher Schwierigkeiten. Obwohl diese Arbeiten schon einige Zeit zurückliegen und der Ofenauer Tunnel sowie der Hiefler Tunnel mit je einer Tunnelröhre bereits in Benützung sind, scheint mir, weil ausser einem technischen Bericht an den Auftraggeber über diese Arbeiten noch keinerlei Niederschrift erfolgte, eine kurze Publikation hiezu von Interesse zu sein.

Als Unterlagen für die Vorbereitungsarbeiten standen das Blatt 94/3 der Österreichkarte 1:25 000 (siehe Kartenausschnitt) und ein Schichtenplan aus einer photogrammetrischen Luftbildauswertung 1:5000 mit den eingetragenen Tunnelvarianten sowie Anhaltspunkte in der Natur aus alten Vorarbeiten zur Durchörterung des Ofenauer Berges und der Hiefler Wand zur Verfügung. Als tolerierbare Querabweichung beim Durchschlag der Tunnel wurden maximal 5 cm zugelassen. Die Messungen sollten so angelegt werden, dass der mittlere Punktlagefehler der Triangulierungspunkte 2,5 cm nicht überschreiten werde.

Graphische Untersuchungen durch Profilentnahmen aus der Karte 1:25 000 führten zur Festlegung der Hauptform des Triangulierungsnetzes. In mehreren Besprechungen mit dem Amt der Salzburger Landesregierung, Bundesstrassenverwaltung A, Autobahn, wurde beschlossen, alle Netzpunkte durch betonierte Pfeiler mit eingegossenen Stahlrohrköpfen zur Aufnahme der Instrumente bzw. Signale zu vermarken und mit einer im Bedarfsfalle abnehmbaren Dauersignalisierung zu versehen. Die hiezu erforderlichen Signale wurden in Absprachen mit dem Auftraggeber entwickelt und durch die Feinmechanische Werkstätte R. u. A. Rost, Wien, ausgeführt. Sie bestehen im wesentlichen aus einer Unterlagsplatte mit drei Fusschrauben, die auf den Pfeilerköpfen zentrisch und horizontal befestigt wird. Die Unterlagsplatte trägt in einer Hülse ein 2,5 cm starkes, darauf senkrecht stehendes zylindrisches Metallrohr, das am oberen Ende zugespitzt ist. In zwei zueinander senk-

rechten Schlitzen sind übereinander mit einem Zwischenabstand von 10 cm Kreisscheiben von je 25 cm Durchmesser eingesetzt. Die Gesamthöhe des Signals beträgt einen Meter. Zur Lackierung wurde eine orange-rote Signalfarbe verwendet. Sie ergab bei der Beobachtung fast durchwegs gute Kontraste gegen den Hintergrund; geringe Schwierigkeiten im Kontrast traten nur bei hellgrünem Wiesenhintergrund auf.

2. Erkundung und Vermarkung des Triangulierungsnetzes

Nach zwei kurzen Vorbegehungen in der Talsohle wurde die gesamte Netzerkundung in der zweiten Julihälfte 1969 durchgeführt. Die Enge des Salzachtals über den grössten Teil des Triangulierungsbereichs, vielfach dichter Uferbewuchs an der Salzach, Buchen- und Fichtenwald, die an beiden Flussseiten steil aufsteigenden Felswände, weglose und dicht verwachsene Legföhrenriegel, die teilweise extreme Lage der Triangulierungspunkte und die besonders schwierige Begehbarkeit der in Felsmauern ringsum abfallenden Kratzbergspitze erforderten trotz gleichzeitiger Verwendung von vier Funkgeräten einen ausserordentlich hohen persönlichen Einsatz der die Erkundung ausführenden Partie sowie des zur Freilegung der Sichten eingesetzten Hilfspersonals. Bedingt durch die Geländeform und die Bewaldung mussten einerseits auf der Kratzspitze und der Kastenspitze je ein Nord- und ein Südexzenter angelegt und die vier Punkte 8–10 auf der Ofenauer Wand in zwei Zweiergruppen zusammengefasst werden.

Insgesamt wurden 32 Netzpunkte erkundet und durch abgespannte Stangen, an denen zur besseren Sichtbarkeit Fahmentuch – je nach Hintergrund weiss, gelb oder rot – befestigt wurde, vorläufig signalisiert und topographiert. Im Einvernehmen mit dem Auftraggeber wurden bei einer Nachbegehung Anfang August aus geologischen Gründen die Punkte 6 und 26 ausgeschieden, so dass für das endgültige Netz 30 Punkte verblieben sind (siehe Netzübersicht).

Im Anschluss daran wurde im Auftrag der Autobahnverwaltung die Vermarkung aller Netzpunkte durch eine örtliche Baufirma durchgeführt. Die im Salzachtal liegenden Punkte 1–5 und 11–25 sowie KT 85 ex und KT 89 ex, wo die Zubringung des Materials keine besonderen Schwierigkeiten bereitete, wurden als zylindrische Betonpfeiler in Betonfundamenten ausgeführt. Bei den Punkten 7–10 sowie KT 7 ex N, KT 7 ex S und KT 91 ex N, KT 91 ex S, wo das Material durch einen Hubschrauber, der an keinem der Punkte landen konnte, antransportiert werden musste, konnte trotz der ursprünglichen Absicht, alle Punkte in gleicher Art zu vermarken, nur eine einfachere Ausführung vorgenommen werden, bei der Stahlrohre einbetoniert worden sind.

Die Pfeiler mit einem Durchmesser von 40 cm und einer Höhe von 90 cm über der Fundamentalplatte tragen einen einbetonierten Stahlrohrkopf von 16 cm Durchmesser und 20 cm Höhe mit einer kreisförmigen Abdeckplatte von 20 cm Durchmesser. Sie ist zentrisch durchbohrt und dient der Aufnahme der Instrumente

und Signale, die über einen Ausschnitt in der Rohrwand mit einer Herzschraube befestigt werden können. Die Stahlrohre haben eine Länge von 110 cm über der Fundamentplatte und sind in gleicher Weise wie die Stahlrohrköpfe auf den Betonpfeilern zur Aufnahme der Geräte eingerichtet worden. Durch Schlechtwetter vielfach behindert, nahm die Vermarkung sehr viel Zeit in Anspruch und zog sich über die Monate August und September hin.

3. Winkel-, Seiten- und Höhenmessung

Die wegen der langen Vermarkungszeit weit hinausgeschobenen Beobachtungsarbeiten konnten erst in der zweiten Oktoberhälfte und Anfang November 1969 ausgeführt werden. Die während dieser Zeit im allgemeinen recht gute Witterung ermöglichte es jedoch, dass trotz der späten Jahreszeit die gesamte Netzbeobachtung in einem Zeitraum von nur 18 Tagen erledigt wurde, wozu aber zur Seitenmessung auch Nachtschichten ausgeführt werden mussten. Hierzu wurden in allen 30 Netzknoten und zur Zentrierung im KT 91 Richtungsbeobachtungen ausgeführt und alle Netzseiten gemessen sowie 22 Höhenbolzen in den Pfeilersockeln 1–5, 11–25, sowie KT 85 ex und KT 89 ex durch ein Technisches Nivellement höherer Genauigkeit im Anschluss an das staatliche Höhennetz beobachtet. Sämtliche Netzknoten wurden überdies durch gegenseitige trigonometrische Höhenmessung festgelegt.

Die Ausführung der Horizontal- und Höhenwinkelmessungen erfolgte in allen Netzknoten mit einem Wild-Theodolit T 3; für Anschluss- und Zentrierungsbeobachtungen wurden eine Wild-Basislatte und ein Wild-Theodolit T 2 verwendet. Zur Entfernungsmessung kamen ein AGA-Entfernungsmessgerät M 6 und ein Wild Distomat DI 10 zum Einsatz; für das Nivellement stand ein Wild-Nivellier Na 2 mit Planplatte zur Verfügung. Die lokalen Einmessungen erfolgten durchwegs mittels Zwangszentrierung; aber auch für alle Winkel- und Seitenmessungen im Triangulierungsnetz waren durch die Ausbildung der Abdeckplatte der Rohrköpfe, in der die Herzschraube bei sehr geringem Spiel gleichzeitig als Zentrierschraube diente, die Bedingungen einer Zwangszentrierung ausreichend gegeben.

Die Netzsignalisierung war schon zum Grossteil vor dem Messungsbeginn erfolgt; in den restlichen Netzknoten wurden die Signale im Zuge der Messungen angebracht.

Die Winkelmessung wurde als volle Satzmessung mit mindestens zwei Sätzen je Standpunkt ausgeführt. Als maximaler Satzschlussfehler wurden $5''$, bei sehr ungünstigen Wetterverhältnissen in Ausnahmefällen $10''$ toleriert. Von den 31 Standpunkten konnten 15 Punkte mit je zwei Sätzen und weitere 8 Punkte mit je 3 Sätzen erledigt werden; in den restlichen 8 Punkten mussten mehr als je 3 Sätze gemessen werden.

Zur Reduktion der schief gemessenen Entfernungen fanden Vertikalwinkelmessungen in allen Standpunkten in sämtlichen Richtungen statt, so dass jede geneigte Strecke in beiden Richtungen beobachtet worden ist,

wobei die Neigung der Hin- und Rückmessung wegen der verschiedenen Instrumenten- und Signalhöhen gegeneinander differiert. Die beabsichtigte Kontrolle für die Seitenlänge ergab sich daher erst bei der Reduktion auf gleiche Neigung bzw. bei der Ermittlung der jeweiligen Horizontalentfernung im mittleren Horizont. Als Sofortkontrolle bei der Messung wurde die Summe der beiden Kreislagen zum gleichen Ziel gebildet. Bei Differenzen von mehr als $5''$ gegen die um den Kollimationsfehler verbesserte Halbkreisumme wurden Wiederholungen der Höhenwinkelmessungen durchgeführt. Um das jeweilige Ziel gut erfassen zu können, wurde im Zielpunkt von den beiden zueinander senkrecht stehenden Kreisscheiben des Signals jeweils jene Scheibe angezielt, deren Ellipsenbild der Kreisform näher lag.

Die Winkelmessung im Talboden bereitete kaum Schwierigkeiten, aber manchmal fast unüberwindlich schienen diese auf der Kastenspitze und der Kratzspitze sowie auf dem Ofenauer Kamm. Dieser war an vielen Tagen eine ausgesprochene Wetterscheide: Während es im Norden strahlenden Sonnenschein gab, lag im Süden dichter Bodennebel bis zu einer Höhe von rund 900 Metern, der sich oft erst zu Mittag auflöste; an nebelfreien Tagen dagegen entwickelte sich der Föhn auf den Bergen oft zu einem richtigen Sturm, der Beobachtungen zu solchen Zeiten fast unmöglich machte. Aus der ursprünglich nicht vorgesehenen, aber durch die Transportschwierigkeiten bedingten, vereinfachten Vermarkung der Bergpunkte mit Rohren ergaben sich weitere Beeinträchtigungen der Beobachtungen: Die grosse Temperaturempfindlichkeit der Metallrohre und daraus folgende Verdrehungen und Neigungen konnten auch durch vielfache Umhüllungen mit Textilien, den zusätzlichen Umbau mit Steinen und durch Abschirmungen nur zum grösseren Teil abgehalten werden. Es wäre in solchen Fällen zu empfehlen, voneinander unabhängige Doppelrohre mit einem entsprechenden Luftzwischenraum zu setzen.

Aus all diesen Umständen und wegen der bis zu $40''$ reichenden Steilheit vieler Visuren, bei der der Einfluss der Stehachsenfehler bereits mit einem Faktor von 0,73 in die Horizontalwinkelmessung eingeht, wurden zur Erhöhung der Gesamtgenauigkeit auch alle Netzseiten mit Hilfe der elektronischen Entfernungsmessgeräte bestimmt.

Alle Entfernungen über 1000 Meter wurden mit dem AGA-Geodimeter M 6 mit Quecksilberdampf Lampe – bei wenigen Seiten auch mit der Normallampe – beobachtet. Wegen der Steilheit der Visuren mussten die AGA-Reflektoren auf eigene schwenkbare Reflektorrahmen, die über meinen Vorschlag von der Firma R. u. A. Rost gebaut worden sind, montiert werden. Die Messungen beanspruchten sehr viel Zeit und Ausdauer, weil optimale Messbedingungen äusserst selten waren: Durch Dunstlagen bei Tag und Nebel einfall bei Nacht waren die Messungen vielfach behindert. Weil die Zielpunkte auf den Bergspitzen für ihre Signalisierung mit den Reflektoren einen Anstieg von vier bis fünf Stunden erforderten, war eine Wettereinplanung in den Beobachtungsablauf nur in geringem Ausmasse mög-

lich. Besonders anstrengend war der Transport des Geodimeters samt allem Zubehör auf die Kastenspitze und auf den Ofenauer Berg. Dabei musste jeder Zielpunkt auf den Bergen mehrfach begangen werden, weil Übernachtungen auf den Gipfeln wegen der kalten Nächte nicht mehr möglich waren. Nur der dauernde Einsatz mehrerer Funkgeräte und eine gute Organisation des gesamten Arbeitsablaufes ermöglichten es, trotz der späten Jahreszeit, die Gesamtarbeit noch zu einem erfolgreichen Abschluss zu bringen.

Die Entfernungen unter 1000 Meter – hauptsächlich in Tallage – wurden mit dem Wild-Distomat Di 10 gemessen. Diese Arbeit lief im wesentlichen ohne Behinderung ab. Nur die Seile von Hochspannungsleitungen kamen trotz Vorplanung bei der Punktauswahl wegen der im Herbst doch schon wesentlich niedrigeren Temperaturen und wegen Temperaturschwankungen bei einigen Seiten im Salztal einige Male in die Visur, so dass einzelne Messungen zu anderen Zeiten wiederholt werden mussten.

Die kurzen Entfernungen zwischen den Doppelpunkten 7–8 und 9–10 sowie die Exzenterseiten KT 7 – KT 7 ex S, KT 85 – KT 85 ex und KT 89 – KT 89 ex wurden mit einem Messband bestimmt.

4. Netzberechnung

Im Gesamtnetz sind 177 Richtungen und 87 Entfernungen gemessen worden. Nimmt man zunächst zur vorläufigen Massstabbestimmung und Orientierung die Lage der Punkte KT 85 ex und KT 89 ex als gegeben an, so liegen mit Hinzufügung der sich daraus ergebenden Entfernung insgesamt 265 Stücke vor, die sich nach Abzug von 30 Orientierungsgrößen für 30 Standpunkte, in denen Richtungssätze beobachtet wurden, auf 147 Winkel und 88 Entfernungen, zusammen also 235 gegebene Bestimmungsstücke vermindern, denen zur Bestimmung eines Netzes mit $n = 30$ Punkten, $2n-3$, d. i. 57 notwendige Stücke gegenüberstehen. Das Gesamtnetz wird somit, soweit dies nicht schon im Zuge der Beobachtungen durch Doppel- oder Mehrfachmessungen geschehen ist, durch 178 Überbestimmungen gegen Fehler abgesichert und in der zu erwartenden Genauigkeiten.

Das für einen aus Richtungen und Seiten gemischten Ausgleich in Österreich Anfang 1970 zur Verfügung stehende Rechenprogramm Rinner befand sich an der Bull-Rechenanlage der General Electric am Rechenzentrum in Graz. Dieses Programm erlaubte die gleichzeitige Verarbeitung von 200 Bestimmungsstücken. Weil aber mit 177 beobachteten Richtungen und 87 gemessenen Entfernungen 264 Stücke vorlagen, musste eine Zerlegung des Gesamtnetzes in ein Hauptnetz und zwei Nebennetze erfolgen.

Der Konfiguration des Gesamtnetzes und dem vorliegenden EDV-Programm am besten entsprechend, wurden zunächst die Punkte 3, 4 und 5 sowie 12 und 13 mit den zugehörigen Seiten und Richtungen und weiter die Seite 20–23, ebenfalls mit den zugehörigen Richtungen gestrichen, weiter die Richtungen zwischen den Doppelpunkten 7 und 8 sowie 9 und 10 sowie

alle Exzenterseiten und Exzenterrichtungen, wodurch sich die Anzahl der Bestimmungsstücke auf genau 200 ermässigte.

Für die Netzausgleichung wurde ein lokales Koordinatensystem gewählt. In ihm erhielt KT 85 ex die Koordinaten $y = + 2000$ m und $x = 0$. Dazu wurden über das Gauss-Krüger-System Koordinaten für KT 89 ex abgeleitet und beide Punkte für die nachfolgenden Netzausgleiche aus programmtechnischen Gründen als fest und damit als fehlerfrei angenommen, so dass diese beiden Punkte im Ausgleichsergebnis ohne Koordinatenverbesserungen aufscheinen.

Vor der eigentlichen Netzausgleichung mussten jedoch noch eine Reihe von Vorarbeiten geleistet werden: Die schon am Felde überprüften Winkelmessungsprotokolle wurden im Feldquartier ein zweitesmal gerechnet und daraus ein Satzmittelverzeichnis angelegt. Sämtliche Winkelmessprotokolle wurden mit Hilfe eines eigens dafür erstellten Programmes am Tischcomputer Olivetti P 101 sodann neuerdings durchgerechnet und die Satzmittel daraus mit den Ergebnissen aus den Feldprotokollen verglichen. Richtungs- und Seitenreduktionen für den Anschluss an das Gauss-Krüger-System waren wegen der kurzen Entfernungen einerseits und der Meridiannähe des Landeskoordinatensystems M 31° andererseits nicht erforderlich. Die mit dem Geodimeter M 6 bzw. dem Distomat Di 10 gemessenen Entfernungen mussten mehrfach reduziert werden. Zunächst wurden die atmosphärischen Einflüsse auf den Messlichtstrahl beseitigt, wofür schon bei der Messung an beiden Enden der gesuchten Seite jeweils Luftdruck und Temperatur abgelesen worden sind. Die gemessenen Höhenwinkel an beiden Seitenenden mussten auf den Seitenmessstrahl höhenmässig zentriert werden und weiter musste die Korrektur wegen der Lotkonvergenz und einer mittleren Refraktion an die gemessenen Höhenwinkel angebracht werden. Als anschliessende Kontrolle wurden die beiden zusammengehörigen Zenitdistanzen für jeden Strahl gerechnet und in ihrer Summe auf die Übereinstimmung mit dem Sollwert von 200° geprüft.

Mit Hilfe dieser reduzierten Zenitdistanzen und der gemessenen, wegen der atmosphärischen Einflüsse korrigierten schiefen Entfernung konnte jetzt der Höhenunterschied zwischen den beiden Endpunkten jeder Seite sowie deren horizontale Entfernung im mittleren Horizont gerechnet werden. Um auf ein einheitliches Bezugssystem zu kommen, mussten schliesslich alle Seiten von ihrer mittleren Höhenlage (Hm) auf das Meeresniveau reduziert werden. Im lokalen System auf Meereshöhe konnten dann die vorläufigen Koordinaten aller Netzknoten gerechnet werden. Damit waren alle Voraussetzungen für den Netzausgleich gegeben.

Der erste Ausgleich des nach Streichung der Punkte 3, 4, 5, 12 und 13 verbliebenen Netzes LUEG 1 (benannt nach dem naheliegenden Pass Lueg) mit nunmehr 25 Neupunkten, für das 200 Bestimmungsstücke vorlagen, zeigte ausserordentlich gute Ergebnisse sowohl im Hinblick auf die anzubringenden Verbesserungen als auch die mittleren Fehler. Bei der Ausgleichung der

vorherst ausgeschiedenen Gruppen 3, 4 und 5 im Subnetz LUEG 2 sowie 12 und 13 im Subnetz LUEG 3 mussten jedoch vom Ausgleich LUEG 1 bereits vorliegende Koordinaten und Richtungen übernommen werden, was eine Vergrößerung der Punktlagefehler nach sich zog.

Um eine Verringerung der Punktlagefehler dieser durch den zu geringen Umfang des vorliegenden Programmes auftretenden Zwangseinflüsse zu erreichen, wurden die beiden Subnetze LUEG 2 und LUEG 3 nunmehr unabhängig mit dem Programm Intest ausgeglichen. Die dabei errechneten, ausgeglichenen Entfernungen zwischen den Punkten KT 89 ex, 1, 2 und 11, 14, die auch im Hauptnetz LUEG 1 vorkommen, wurden anschliessend mit dem möglichen Höchstgewicht in einen neuerlichen Gesamtausgleich eingeführt.

Schliesslich wurden das Netz LUEG 2 unter Festhaltung der Koordinaten und damit auch der Seiten des Dreiecks KT 89 ex, 1 und 2 und das Netz LUEG 3 unter Festhaltung der Koordinaten der Punkte 11 und 14 und damit auch der Seite zwischen diesen Punkten endgültig ausgeglichen. Dadurch wurde eine Verminderung der Grössen der Fehlerellipsen gegenüber dem ersten Ausgleich der Teilnetze LUEG 2 und LUEG 3 erzielt. Noch etwas günstigere Resultate hätten sich aber erzielen lassen, wenn die Kapazität des vorliegenden Programmes Rinner die gleichzeitige Verarbeitung aller 264 Bestimmungsstücke in einem Guss ermöglicht hätte.

Die aus den Netzausgleichen gewonnenen lokalen Koordinaten aller Triangulierungspunkte wurden anschliessend mittels einer Ähnlichkeitstransformation vom Meeresniveau auf den Tunnelhorizont (= 507 Meter über Adria) gehoben. Mit Hilfe einer Helmert-Transformation über die vier sowohl im lokalen System sowie im Landeskoordinatensystem M 31° vorliegenden Punkte KT 7, KT 85, KT 89 und KT 91 erfolgte sodann überdies die Berechnung der Gauss-Krüger-Koordinaten aller übrigen Netzpunkte.

5. Ergebnisse und Schlussbemerkungen

Als Resultat der Gesamtarbeit ergaben sich

- a) ein Messdatenverzeichnis mit den gemittelten Richtungssätzen und den reduzierten Seiten,
- b) die Ausdrucke der Netzausgleiche mit allen üblicherweise darin enthaltenen Aussagen von den vorläufigen Koordinaten bis zu den Elementen der Fehlerellipsen,
- c) die Netzübersichten 1:25 000 (in der Österreichkarte) und 1:5000 mit den Fehlerellipsen für alle Netzpunkte,
- d) die Topographien aller Netzpunkte mit Angabe der Koordinaten im Gauss-Krüger-System M 31°, im lokalen System im Meeresniveau und im lokalen System in 507 Meter Meereshöhe (mittleres Tunnelniveau) sowie den Pfeilerbolzen- und Pfeilerkopfplatten-Höhen,
- e) die Koordinatenverzeichnisse in diesen drei Systemen,

- f) ein Höhenverzeichnis mit den Höhen der Pfeilerbolzen und der Pfeilerkopfplatten über Adria.

Wie aus den Ergebnissen der Netzausgleichen hervorgeht, wurden, trotz der ungünstigen Geländekonfiguration und allen anderen schon früher angeführten Schwierigkeiten bei den Vermarkungen und den Messungen, durch die hohe Sorgfalt bei allen Beobachtungen sowie die grosse Anzahl von Übereinstimmungen Resultate von besonderer Güte erzielt. Die mittleren Koordinatenfehler im Hauptnetz (LUEG 1) liegen mit Ausnahme eines einzigen Wertes von 10,4 mm durchwegs unter der Zentimetergrenze; für die Halbachsen der Fehlerellipsen, wo nur eine die Grösse von 11,6 mm erreicht, gilt dasselbe. Die mittleren Fehler der beobachteten Seiten des Hauptnetzes liegen ebenfalls durchwegs unter einem Zentimeter; die mittleren Fehler der ausgeglichenen Richtungen sind ausserordentlich klein; der grösste unter ihnen beträgt nur 4^{cc}73.

Aber auch bei den Subnetzen LUEG 2 und LUEG 3, für die aus dem Ausgleich des Hauptnetzes schon Zwänge vorlagen, traten durchwegs nur kleine Fehlerwerte auf, die beim Netz LUEG 3 – zusätzlich bedingt durch die Steilvisuren der engen Salzachschlucht – eine maximale Halbachse der Fehlerellipse von 12,6 mm und einen grössten mittleren Seitenfehler von 12,5 mm ergaben. Verursacht durch die Zwangsbedingungen erreichten die Fehler der ausgeglichenen Richtungen hier Werte zwischen 23 und 42 Neusekunden, was aber bei den kurzen Seiten dieses Subnetzes nur Querver-schwenkungen von 11 mm ergibt.

Dass die Homogenität der Subnetze keinesfalls schlechter als die des Hauptnetzes ist, zeigen die beiden unabhängigen Netzausgleiche mit dem Programm Intest. Die mittleren Koordinatenfehler erreichen dabei maximal 4,1 mm, die mittleren Seitenfehler maximal 6,9 mm und die mittleren Richtungsfehler maximal 3^{cc}71.

Von den drei Objekten: Ofenauer Tunnel, Salzachbrücke, Hiefler Tunnel, zu deren Absteckung das Triangulierungsnetz diente, ist die die beiden Tunnel verbindende Autobahnbrücke über die Salzach zuerst ausgeführt worden; die beiden Tunnel mit bisher je einer Tunnelröhre wurden nachher durchgebrochen, wobei beim Ofenauer Tunnel noch der Umstand von Nutzen war, dass es aus einem alten Projekt aus der Zeit vor dem Zweiten Weltkriege einen verfallenen Richtstollen gab, der im Zuge der Durchörterung zuerst geräumt und wieder abgesichert worden ist. Der Hiefler Tunnel wurde zunächst mit einem Basisstollen von beiden Seiten her vorgetrieben, worauf der Vollausschub von Süden nach Norden, also in unkonventioneller, weil fallender Richtung erfolgte, da von jener Seite her mehr Platz für den Abtransport des Ausbruchmaterials vorhanden war. Die Abführung des Wassers ging dem natürlichen Gefälle nach in Richtung Nord, wohin auch die Absaugung des bei den Sprengungen auftretenden Staubes erfolgte.

Die im Zuge des Baues erforderlichen Vermessungsarbeiten sind durch den Auftraggeber an einen Salzburger Vermessungsingenieur bzw. direkt an die Bau-

firmen übertragen worden. Wie mir vor kurzem von Seite des Auftraggebers mitgeteilt wurde, stimmen die Folgemessungen mit den aus der Tunneltriangulierung errechneten Werten bestens überein.

Adresse des Verfassers

o. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. F. Hauer, Vorstand des Institutes für allgemeine Geodäsie der Technischen Hochschule Wien, Gusshausstrasse 27-29, A-1040 Wien

Über die Absteckung des Tauern- und Gleinalmtunnels

K. Rinner, Graz

1. Allgemeine Bemerkungen

Vermessungsarbeiten für die Absteckung eines Tunnels gehören auch heute zu den schönsten und verantwortungsvollsten Aufgaben der geodätischen Praxis. Zwar wird durch neue Mess- und Rechenhilfsmittel die Arbeit erleichtert und das Risiko des Durchschlages ist geringer als früher. Die Anforderungen an die Genauigkeit des Durchschlages sind jedoch grösser, die Messbedingungen schwieriger und der für Arbeiten im Tunnel verfügbare Zeitraum geringer geworden. Der Vermessungsingenieur hat in der Regel wohl genügend Zeit für die Schaffung der grundlegenden Lage- und Höhenetze. Er hat auch den Vorteil, hierfür ausser Theodolitrichtungen, Laser- und Mikrowellenentfernungen sowie Kreiselrichtungen messen zu können. Für die Berechnung stehen ihm Computerprogramme für eine strenge Ausgleichung sowie für die Abschätzung der Durchschlagsgenauigkeit und der Auswirkung von systematischen Fehlern (Lotabweichung, Refraktion), zur Verfügung. Ausserdem kann er die Netzform und die Anordnung der Messgrößen optimieren. Er ist daher in der Lage, die Auswirkung seiner Messanordnungen auf das erwartete Ergebnis besser abzuschätzen als bisher.

Absteckungsarbeiten im Tunnel müssen hingegen unter den erschwerten Bedingungen eines durchlaufenden Mehrschicht-Baubetriebes ausgeführt werden. Für Hauptkontrollen stehen immer nur sehr knapp bemessene Abgangszeiten zu hohen Feiertagen (Weihnachten, Ostern) zur Verfügung. Die Sichten im Tunnel sind meist kurz, weil aus fahrdynamischen und Sicherheitsgründen Tunnels mehrfach gekrümmt sind. Beim Vortrieb von Richtstollen mit kleinem Querschnitt treten deshalb immer Probleme der Seitenrefraktion auf.

In der Folge wird über Verfahren und Erfahrungen bei der Absteckung von zwei Autobahntunnels in Österreich berichtet.

2. Absteckung des Tauern- und Gleinalmtunnels

In den letzten Jahren wurden unter Leitung des Verfassers Vermessungsarbeiten für den Vollausschub des 6,3 km langen Tauerntunnels und eines Sondierstollens des 8,3 km langen Gleinalmtunnels ausgeführt. Für beide Tunnels ist der Durchschlag Anfang 1974 erfolgt. Der Tauerntunnel wird bereits befahren, im Gleinalmtunnel ist der Vollausschub im Gange.

In der Folge wird über die bei diesen Arbeiten angewendeten Verfahren und die gewonnenen Erfahrungen berichtet.

Tauerntunnel

Der Tauerntunnel der Autobahn Salzburg-Villach verbindet unter einem bis 2600 m aufsteigenden Gebirge im Niveau 1300 m die Flachau mit dem Zederhaustal.

Lehrkanzel für Landesvermessung
und Photogrammetrie, TH in Graz
o. Prof. Dr. Karl Rinner

Tauerntunnel Absteckungsnetz

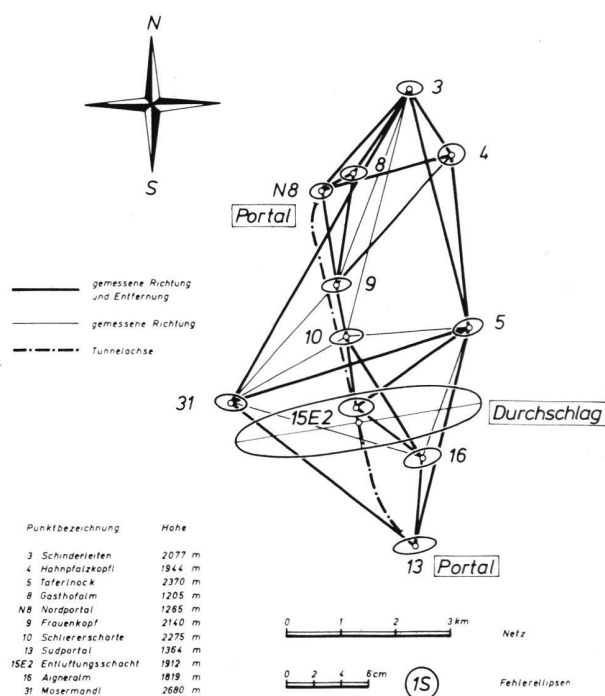


Abbildung 1a

Er wurde im Vollausschub gebaut und 1975 dem Verkehr übergeben. Die ersten Absteckungsunterlagen wurden 1966 mit Hilfe eines lokalen, an die Landesvermessung angeschlossenen kombinierten Netzes ermittelt. Da im Baufortschritt auf Grund geologischer und finanzieller Situationen Schwierigkeiten auftraten und Veränderungen der Ausgangspunkte nicht ausgeschlossen werden konnten, wurde 1971 ein neues Netz (Kontrollnetz) ausgewählt, das Teile des ersten Netzes und zusätzlich einen Polygonzug über Tag zur Festlegung eines Schachtpunktes enthält. Für dieses in Fig. 1a dargestellte Netz wurden die Winkel mit Sekundentheodoliten (Wild T 3, Kern DKM 3 A), die Entfernungen mit Laserlicht (Geodimeter 8) gemessen.