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: 63 (1965)

Heft: 9

Artikel: Stollenabsteckung mit Geodimeter-Polygonzügen und Vergleich mit der Methode der Triangulation

Autor: Elmiger, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-220011

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: 15.07.2025

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

Stollenabsteckung mit Geodimeter-Polygonzügen und Vergleich mit der Methode der Triangulation

von A. Elmiger, Zürich

Zusammenfassung

Die bei der Absteckung von zwei Stollen mit Hilfe von Geodimeter-Polygonzügen gemachten Erfahrungen werden dargelegt und die zu erwartenden und die erreichten Genauigkeiten verglichen mit jenen, die sich bei der Absteckung auf Grund einer Triangulation ergeben.

Résumé

On décrit les expériences faites lors du piquetage de deux galeries en utilisant des polygonales mesurées avec le Géodimètre. Les précisions à attendre et les résultats obtenus sont comparés à ceux de la méthode par triangulation.

1. Einleitung

Vor der Absteckung eines Stollens ist es nötig, die gegenseitige Lage und Höhe aller Stollenangriffspunkte durch ein geeignetes Meßverfahren zu bestimmen. Sind diese in einem gemeinsamen Bezugssystem bekannt, so kann von ihnen aus das Bauwerk im Gelände abgesteckt werden. Die eigentliche Absteckung eines Stollens beruht dann in der Messung von Polygonzügen, die von den Portalpunkten aus in die Stollen verlaufen.

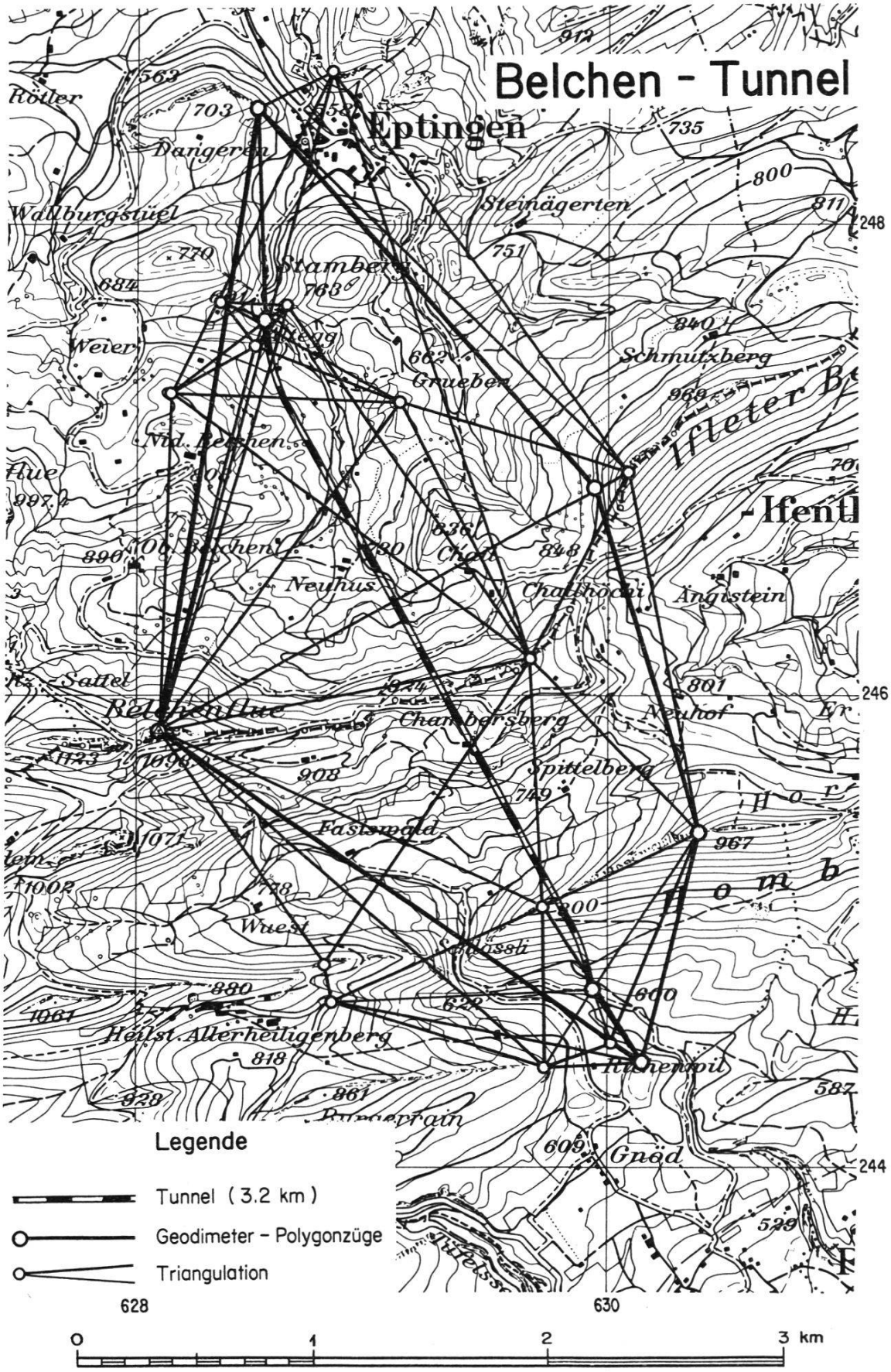
Die Aufgabe der Bestimmung von Absteckungsfixpunkten wurde bisher, wenigstens bei größeren Stollen, ausschließlich mit Hilfe einer Stollentriangulation gelöst. Mit dem Aufkommen von genauen elektronischen Distanzmeßgeräten bietet sich auch die Möglichkeit, durch oberirdische Polygonzüge mit langen Seiten die Absteckungsgrundlagen zu schaffen.

Im folgenden sollen die Erfahrungen, die mit dieser Methode bei der Absteckung von zwei Stollen gemacht wurden, dargelegt werden; die Seiten wurden mit einem Geodimeter gemessen. Da beide Stollen auch nach klassischer Methode, mit Hilfe einer Triangulation, abgesteckt wurden, ist ein Vergleich beider Methoden in bezug auf erreichte und theoretisch zu erwartende Durchschlagsgenauigkeiten von besonderem Interesse.

2. Bauobjekte

Bei beiden Stollen handelt es sich um Straßentunnel des schweizerischen Nationalstraßennetzes.

Der *Belchentunnel,* auf der Nationalstraße N2 Basel–Luzern, zwischen Eptingen und Hägendorf, hat eine Länge von 3,2 km. Er ist ein eigentlicher Autobahntunnel von gestreckter Grundrißführung mit flachen Kurven bei den Eingängen. Zwei parallel geführte Tunnelröhren ent-



Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 31. August 1965

Bild 1

halten je zwei Fahrspuren. Der Tunnelbau erfolgte im Teilausbruch, wobei für jede Tunnelröhre zwei Sohlstollen nebeneinander vorgetrieben wurden, die in gewissen Distanzen durch einen Querstollen verbunden waren. Da schon vor dem Vollausbruch der Tunnelröhre die beiden Fundamente des Tunnelgewölbes fertig betoniert wurden, war eine genaue Parallelführung von je zwei Vortriebstollen von besonderer Bedeutung. Der Durchschlag des ersten Vortriebstollens erfolgte im Herbst 1964.

Der *Bernhardintunnel* liegt auf der Nationalstraße N 13 Chur–Bellinzona, zwischen Hinterrhein und San Bernardino. Als Bestandteil einer Nationalstraße 3. Klasse dient er nur für zwei Fahrspuren und hat eine Länge von 6,6 km. Im Grundriß verbinden Geraden die schwach gekrümmten Kurven bei den Eingängen und in den Drittelspunkten des Tunnels, wodurch sich ebenfalls eine ziemlich gestreckte Linienführung ergibt. Zwei Lüftungsschächte führen von den Drittelspunkten des Tunnels aus an die Oberfläche. Der Tunnel wurde im Vollausbruch gebaut und Mitte April 1965 durchgeschlagen.

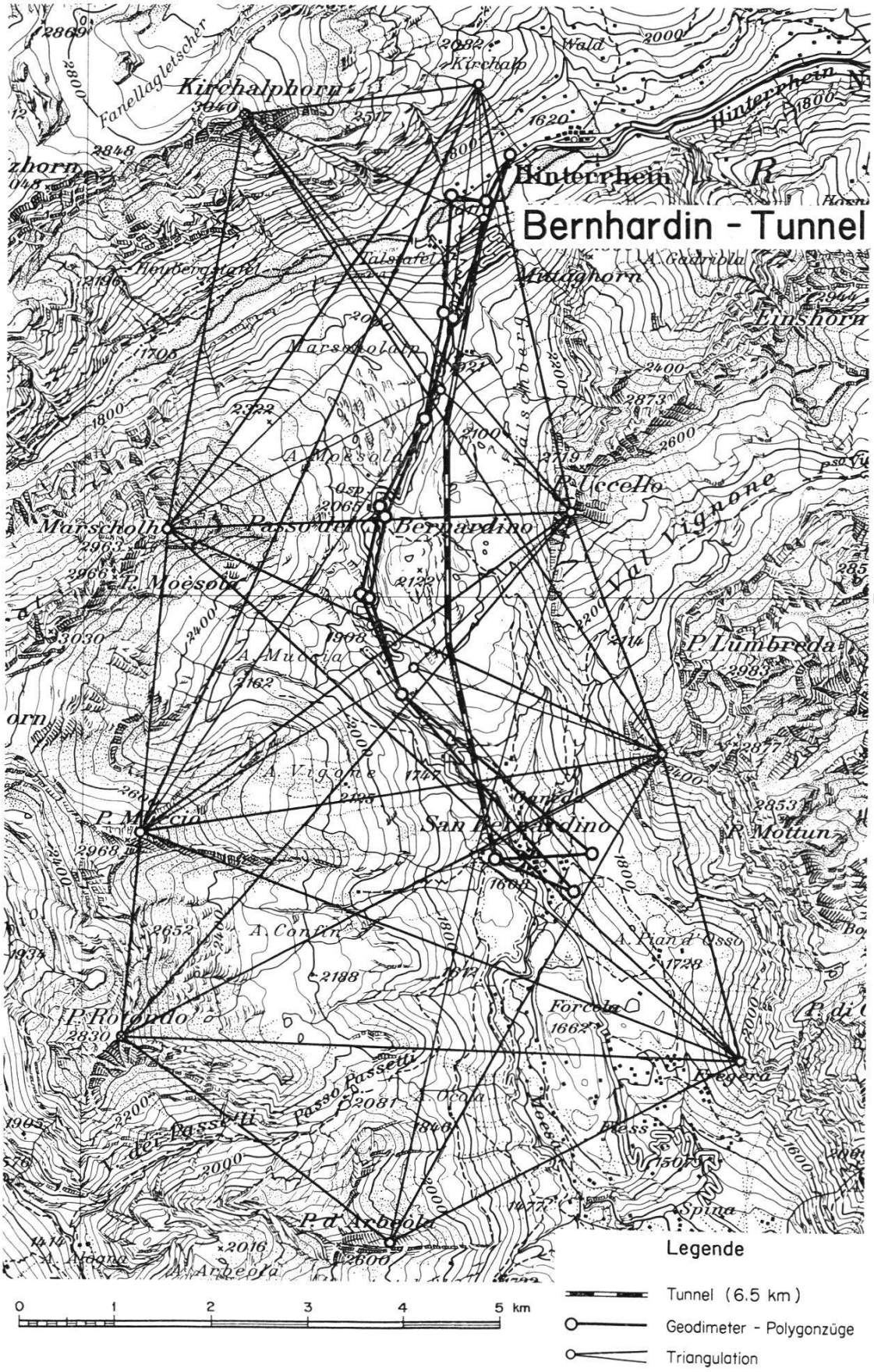
Bei beiden Stollen wurde die eigentliche Absteckung von privaten Vermessungsbüros mit Hilfe einer Stollentriangulation ausgeführt. Unabhängig davon führte das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie die entsprechenden oberirdischen Messungen und unterirdischen Absteckungen mit dem Geodimeter durch, wobei es sich beim Belchen um einen Auftrag der Bauleitung für eine Kontrollabsteckung handelte, wogegen beim Bernhardin die Messungen nur zu Versuchszwecken erfolgten.

3. Die Stollenabsteckung auf Grund der Triangulation

Die vom Vermessungsbüro K. Weissmann, Zürich, ausgeführte Stollentriangulation des *Belchentunnels* ist im Bild 1, zusammen mit den Geodimeter-Polygonzügen des Institutes für Geodäsie und Photogrammetrie, dargestellt. Einige sekundäre Punkte und Exzentren sind weggelassen, um das Bild nicht zu überlasten. Das Netz erforderte wegen des ziemlich kupierten, waldigen Geländes insgesamt 28 Triangulationspunkte, Exzentren inbegriffen, wobei es sich teils um bestehende Triangulationspunkte der amtlichen Vermessung, teils um neue Punkte handelt.

Die Verhältnisse, wie sie bei Stollentriangulationen etwa auftreten, sollen am Beispiel des *Bernhardintunnels* kurz dargelegt werden, wo sich das Büro W. Schneider, Chur, mit der Absteckung nach der klassischen Methode befaßte.

Das Triangulationsnetz diente hier sowohl für den Straßentunnel Bernhardin als auch für einen Kraftwerkstollen vom Val Calanca ins Misox. Die in den Alpen für den Aufbau einer Triangulation im allgemeinen günstigen topographischen Verhältnisse ermöglichten ein Netz von insgesamt nur 26 Punkten, von denen 13, nämlich 9 Hauptpunkte und 4 Absteckungsfixpunkte, auf das Gebiet des Straßentunnels entfielen. Dieser Teil des Netzes ist im Bild 2, ebenfalls zusammen mit der von der Triangulation unabhängigen Lösung der Geodimeter-Polygonzüge, dargestellt.



Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 31. August 1965

Bild 2

Auch hier enthält das Netz teils bestehende Triangulationspunkte III. und IV. Ordnung, teils neue Punkte. Diese könnten in die bestehenden eingeschaltet werden. Im allgemeinen führt jedoch eine vollständige Neumessung und Neurechnung eines Stollentriangulationsnetzes rascher zum Ziel und zu befriedigenderen Ergebnissen als die Verwendung der bestehenden amtlichen Triangulation. Man umgeht so verschiedene Unsicherheiten und Fehlerquellen, wie Verschiebungen der bestehenden Punkte, Anschlußfehler zwischen verschiedenen Operaten der amtlichen Triangulation usw., und vermeidet das zeitraubende Suchen nach solchen Fehlern zum vorneherein.

Aus diesen Gründen wurde das Netz Bernhardin vollständig neu gemessen und berechnet. Die Messungen erfolgten im Sommer 1958. Wegen der teilweise langen Visuren wurde ein Präzisionstheodolit Kern DKM-3 verwendet.

Das Netz wurde nach der Methode der kleinsten Quadrate durch eine vermittelnde Ausgleichung berechnet. Diese könnte grundsätzlich in einem Guß oder in Teilausgleichungen erfolgen. Die Anzahl der Teilausgleichungen, in die man die gesamte Aufgabe aufteilt, und die damit erreichte mehr oder weniger hohe Strenge der Ausgleichung ist hauptsächlich bedingt durch die vorhandenen elektronischen Rechnungsprogramme und das Ziel der Berechnungen. Um die Koordinaten der Absteckungsfixpunkte mit genügender Genauigkeit zu erhalten, ist eine Ausgleichung in einem Guß nicht erforderlich, wogegen diese eine einwandfreie Berechnung der zu erwartenden Durchschlagsgenauigkeit ermöglicht. Auf diesen Punkt soll im Abschnitt 7 noch eingetreten werden.

Zur Zeit, als die Bernhardintriangulation berechnet wurde (1959), existierten noch keine vollständigen elektronischen Ausgleichungsprogramme. Die Ausgleichung des Netzes erfolgte daher in zwei Schritten: Zuerst wurde ein Hauptnetz von 13 Punkten gesamthaft ausgeglichen, wobei man aus den Fehlergleichungen mit einer Tischrechenmaschine die 22 Normalgleichungen für die 11 Neupunkte bildete, welche dann auf einem IBM 650-Elektronenrechner aufgelöst wurden. Danach wurden die Nebenpunkte einzeln oder doppelpunktweise in das Hauptnetz eingeschaltet.

Den Richtungen des Hauptnetzes wurden verschiedene Gewichte zugeteilt. Hangpunkte erhielten wegen der hier zu vermutenden Lotabweichungen kleineres Gewicht als Gipfel- oder Talpunkte, und den Zentrierfehlern wurde Rechnung getragen durch Zuteilung eines kleineren Gewichtes bei kurzen Visuren.

Aus der Ausgleichung ergab sich ein mittlerer Fehler einer beobachteten Richtung mit hohem Gewicht von $\pm 5{,}4^{cc}$. Dieser Wert erscheint gegenüber dem mittleren Fehler einer gemittelten Richtung aus den Stationsausgleichungen von $\pm 1{,}8^{cc}$ etwas hoch, kann jedoch im Hinblick auf die im Gebiet vorhandenen Lotabweichungen als befriedigend betrachtet werden.

Den Maßstab und die Orientierung des Netzes erhielt man durch eine Helmert-Transformation des Stollentriangulationsnetzes auf ausgewählte Punkte der Landestriangulation.

Im Netze waren neben den Horizontalwinkeln auch alle Höhenwinkel gegenseitig beobachtet worden. So konnten die durch Nivellementsanschluß an das über den Paß verlaufende Landesnivellement gewonnenen *Höhen* der Absteckungsfixpunkte durch eine vermittelnde Höhenausgleichung kontrolliert werden.

4. Die Stollenabsteckung durch Geodimeter-Polygonzüge

4.1. Allgemeines über die Netzanlagen

Will man die elektronische Distanzmessung für die Beschaffung der Absteckungsgrundlagen von Stollen verwenden, so kommen verschiedene Möglichkeiten in Frage. Es sind reine Streckennetze, Triangulationen mit einer oder mehreren gemessenen Distanzen oder Polygonzüge möglich. Wir wählten das Verfahren der Polygonzüge, weil sie einen relativ geringen Arbeitsaufwand für Messung und Berechnung erfordern. Zudem ist man hier bei der Wahl der Punkte im Gelände bedeutend freier als bei einer Triangulation oder bei einem reinen Streckennetz, das auch in bezug auf die Richtungsübertragung etwas ungünstiger sein dürfte als Polygonzüge. Daß neben den Distanzen auch noch Horizontalwinkel zu messen sind, ist kein Nachteil, da für die trigonometrische Höhenübertragung sowieso neben dem Distanzmeßgerät auch ein Theodolit erforderlich ist.

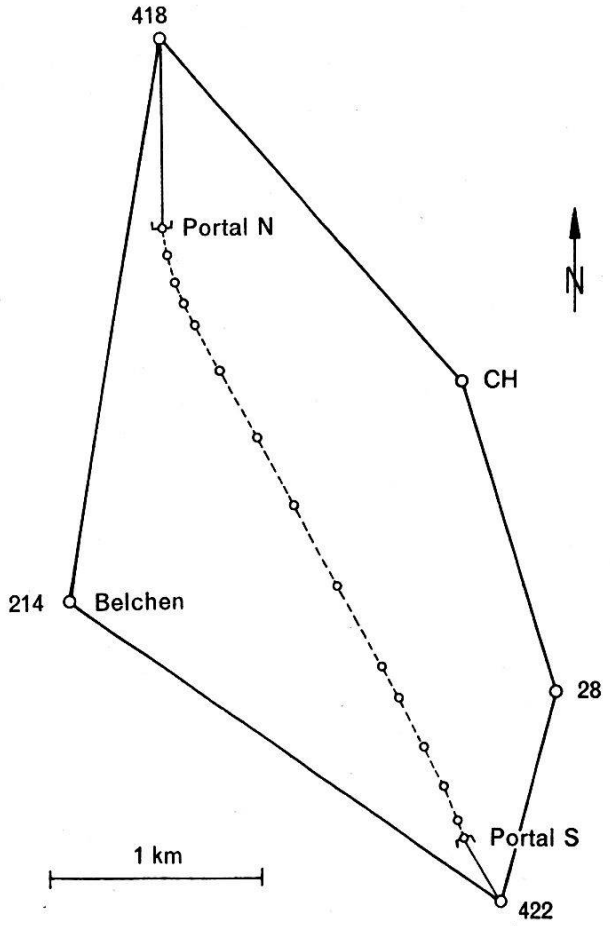


Bild 3. *Belchentunnel,* Netzplan der Polygonzüge

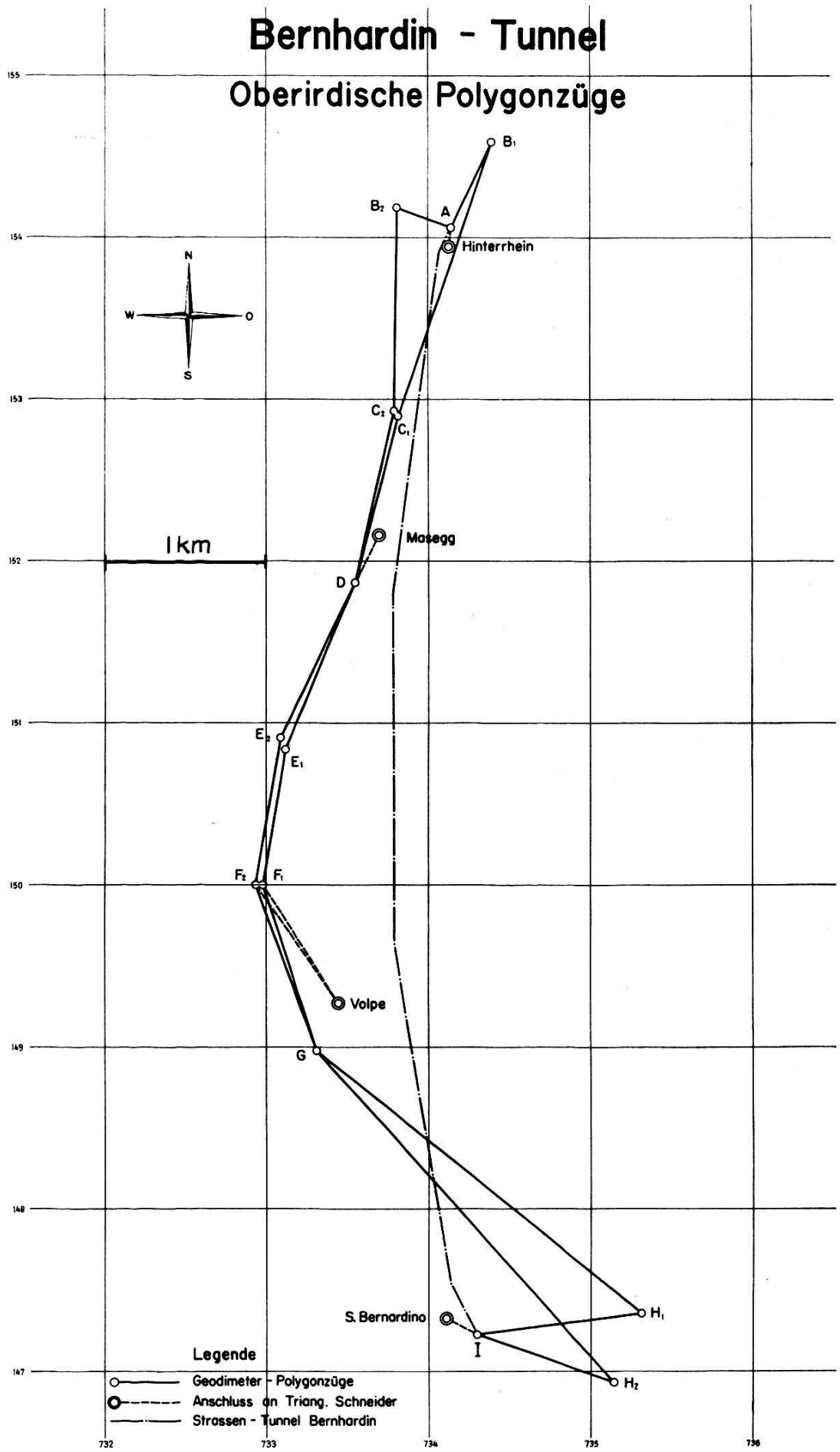

Bernhardin - Tunnel
Oberirdische Polygonzüge
B1
B2
A
Hinterrhein
N
W
O
S
C2
C1
Masegg
1 km
D
E2
E1
F2
F1
Volpe
G
S. Bernardino
H1
I
H2
Legende
Geodimeter - Polygonzüge
Anschluss an Triang. Schneider
Strassen - Tunnel Bernhardin
155
154
153
152
151
150
149
148
147
732
733
734
735
736

Bild 4

Grundsätzlich würde *ein* Polygonzug, der alle zu bestimmenden Absteckungsfixpunkte verbindet, genügen. Zwei Polygonzüge bieten eher Schutz vor groben Fehlern, steigern die Genauigkeit und erlauben, diese abzuschätzen. Bild 3 und Bild 4 zeigen die tatsächlich gemessenen Polygonzüge. Beim Belchen wurden nur die beiden Stollenportale durch oberirdische Messungen verbunden, beim Bernhardin dagegen auch die Punkte bei den Entlüftungsschächten. Beim Belchen können die zwei Polygonzüge vom Portal Nord zum Portal Süd mit 2 beziehungsweise 3 Seiten aufgefaßt werden als ein geschlossener Zug von 5 Seiten. Da das Gebiet des Belchens leicht zugänglich ist, konnten die Punkte dort so gewählt werden, daß sich eine breite Polygonschleife ergibt. Beim Bernhardin war man dagegen aus Transportgründen und wegen des fortschreitenden Winters gezwungen, beide Polygonzüge in die Nähe der Paßstraße zu verlegen. Dadurch ist hier zum vorneherein nur eine geringe Kompensation des Einflusses der Lotabweichungen auf die Messungen zu erwarten. Die zwei Polygonzüge beim Bernhardin haben zwei gemeinsame Zwischenpunkte bei den Lüftungsschächten, wodurch sich eine etwas größere Überbestimmung ergibt als beim Belchen. Die Seitenlängen der Polygonzüge über den Berg liegen bei beiden Netzen zwischen 350 m und 2700 m. Die Gesamtlänge der oberirdischen Polygonzüge beträgt beim Belchen 10 km, beim Bernhardin 19 km.

Ein Vergleich der Polygonzüge mit dem Triangulationsnetz ist beim Belchen dadurch möglich, daß 4 der total 5 Polygonpunkte mit Punkten der Stollentriangulation identisch sind. Beim Bernhardin wurden zusätzliche Anschlußseiten nach 4 Stollentriangulationspunkten gemessen, um eine Vergleichsmöglichkeit zu erhalten.

4.2. Feldarbeiten

Beobachtet wurden die horizontalen Richtungen, die Höhenwinkel auf allen oberirdischen Stationen und die Distanzen.

Die oberirdische Winkelmessung erfolgte teils mit einem Wild-T2-, teils mit einem Kern-DKM3-Theodolit. Signalisiert wurden die Punkte mit Lindenmann-Jalons und gelb gestrichenem Querbrett für die Höhenwinkel. Auf jeder Station beobachteten wir 4 horizontale Richtungssätze. Die Höhenübertragung erfolgte durch gegenseitige Höhenwinkelmessung, wobei jeder Höhenwinkel viermal (zweimal untere Brettkante, zweimal obere Brettkante, zur Elimination von Zielfehlern) gemessen wurde.

Für die Distanzmessung benützten wir das Geodimeter AGA NASM-4B des Institutes für Geodäsie und Photogrammetrie. Als Lichtquelle diente eine Quecksilberhöchstdrucklampe. Die Distanzmessungen wurden, besonders am Bernhardin, wo die Messungen teilweise im Winter erfolgten, auf ein Minimum beschränkt. Im allgemeinen wurde jede Distanz nur einmal gemessen, wobei sich durch die beim Geodimeter nötige Messung mit 3 Frequenzen sowieso 3 Werte für die Distanz ergeben. Nur vereinzelte Distanzen wurden wiederholt gemessen, um ein Bild über die innere Meßgenauigkeit zu erhalten. Im Zusammenhang mit

der einseitigen Streckenmessung steht ferner die Tatsache, daß meteorologische Daten nur für einen Endpunkt jeder Strecke vorliegen. Bekanntlich haben diese beim Geodimeter, wo Licht zur Distanzmessung verwendet wird, einen relativ kleinen Einfluß auf das Ergebnis. Ein Fehler der Temperatur von 1 °C beziehungsweise 3 mm im Druck bewirkt je einen Distanzfehler von nur 1 mm pro Kilometer.

Die Messung der Distanzen im Stollen erfolgte in gleicher Weise wie die oberirdischen Distanzen. Für die Richtungsübertragung im Tunnel verwendeten wir eine Polygonausrüstung Wild T2 mit von Hand beleuchteten Zielmarken.

Beim Belchentunnel wurde nur einer der 4 Sohlstollen mit dem Geodimeter kontrolliert. Von den Endpunkten der oberirdischen Polygonzüge führt je eine Seite von 900 m beziehungsweise 400 m an die eigentlichen Stollenportale heran. Wegen des relativ kleinen Querprofils des Sohlstollens mußten die Seitenlängen im Stollen aus Sichtgründen ziemlich kurz gewählt werden. Für die Strecke von 3,2 km von Portal zu Portal waren 14 Seiten nötig, so daß sich eine durchschnittliche Seitenlänge im Stollen von 230 m ergibt. Beim Bernhardintunnel genügten 12 Seiten für die Strecke von 6,8 km zwischen den beiden Portalfixpunkten.

4.3. Berechnungen

4.3.1. Höhen

Die Höhen der oberirdischen Polygonzüge wurden direkt mit den schief gemessenen Distanzen und den Höhenwinkeln berechnet und der am Ende einer Polygonschlaufe auftretende Widerspruch proportional zu den Seitenlängen verteilt. Die Widersprüche am Schlaufenende betrugen

- beim *Belchen* 6,1 cm bei einer Schlaufenlänge von 10 km,
- beim *Bernhardin* für die aus Bild 4 ersichtlichen Schlaufen
  A–D 1,0 cm Schlaufenlänge 6,2 km
  D–G 1,9 cm Schlaufenlänge 6,1 km
  G–I 0,7 cm Schlaufenlänge 7,2 km

Die beim Bernhardin erreichten Abschlußfehler ergeben ein etwas zu gutes Bild über die Genauigkeit der Höhenübertragung, weil die Lotabweichungen in beiden Polygonzügen gleichsinnige Verfälschungen der Höhendifferenzen ergeben, da die Züge sehr nahe beieinander verlaufen. Trotzdem ist es eine bekannte Erfahrung, daß sich durch trigonometrische Höhenpolygone über nicht zu lange Seiten sehr gute Höhenübertragungen ergeben.

4.3.2. Lage

Reduktion der gemessenen schiefen Distanzen

Werden die schiefen Distanzen mit den beiden gemessenen Höhenwinkeln, unter Berücksichtigung der Unterschiede der Instrumenten- und Zielhöhen von Theodolit und Geodimeter reduziert, so ergibt das Mittel

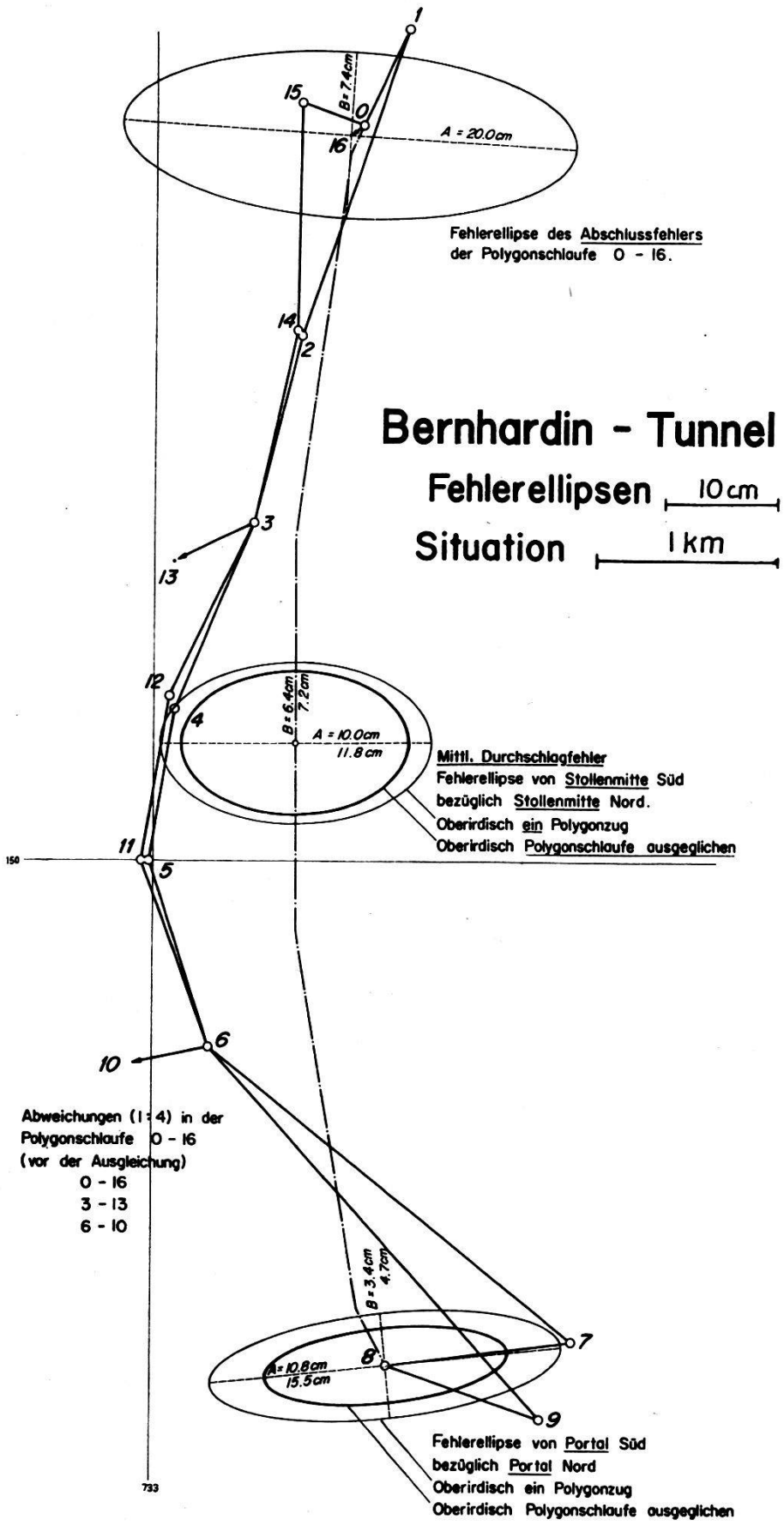

Bernhardin - Tunnel
Fehlerellipsen 10 cm
Situation 1 km
Fehlerellipse des Abschlussfehlers der Polygonschlaufe 0 - 16.
A = 20.0 cm
B = 7.4 cm
Mittl. Durchschlagfehler
Fehlerellipse von Stollenmitte Süd bezüglich Stollenmitte Nord.
Oberirdisch ein Polygonzug
Oberirdisch Polygonschlaufe ausgeglichen
A = 10.0 cm
11.8 cm
B = 6.4 cm
7.2 cm
Abweichungen (1 : 4) in der Polygonschlaufe 0 - 16 (vor der Ausgleichung)
0 - 16
3 - 13
6 - 10
A = 10.8 cm
15.5 cm
B = 3.4 cm
4.7 cm
Fehlerellipse von Portal Süd bezüglich Portal Nord
Oberirdisch ein Polygonzug
Oberirdisch Polygonschlaufe ausgeglichen
150
733

Bild 5

in genügender Näherung die Kugeldistanz in halber Höhe der Visur. An ihr wird die übliche Korrektion wegen Meereshöhe und Projektion angebracht.

Dieser Reduktion der schiefen Distanzen haften besonders zwei Unsicherheiten an:

Erstens verfälschen die Einflüsse der Lotabweichungen an den gemessenen Höhenwinkeln die reduzierten Distanzen. Der Fehler an der reduzierten Distanz ist direkt proportional zur Komponente der Lotabweichung in der betreffenden Richtung und zur Höhendifferenz der Stationspunkte und erreicht beispielsweise für die Seite B2–C2, die vom Talboden Hinterrhein halbwegs auf die Paßhöhe verläuft, bei 300 m Höhendifferenz und 40^{cc} geschätzter Lotabweichung den Betrag von 19 mm.

Natürlich wird diese Unsicherheit nicht ausgeschaltet, wenn man zur Reduktion der schiefen Distanzen die Höhen der Stationspunkte verwendet, es sei denn, es handle sich um ellipsoidische Höhen, die jedoch in einem besondern Meß- und Rechnungsverfahren bestimmt werden müßten.

Zweitens wird bei steilen Visuren die Reduktion der schiefen Distanzen unsicher, weil die Höhe jenes Punktes am Reflektor, wo das tatsächlich verwendete Licht reflektiert wird, nicht genau bekannt ist. Der Fehler an der Distanz ist abhängig von der Größe des Reflektors und vom Höhenwinkel. Für die genannte Seite B2–C2, die mit einem 7-Prismen-Reflektor gemessen wurde, beträgt bei einer geschätzten Unsicherheit der Reflektorhöhe von 8 cm der Fehler an der reduzierten Distanz 18 mm.

Strenge Ausgleichung der Polygonzüge

Bekanntlich liegt die Bedeutung einer strengen Ausgleichung von Polygonzügen nicht in den erhaltenen Koordinatenverbesserungen, sondern darin, daß sie Anhaltspunkte über die erreichte Genauigkeit liefert und einwandfreie Fehlerüberlegungen ermöglicht, insbesondere die Berechnung des mittleren zu erwartenden Durchschlagsfehlers.

Bei der Ausgleichung verschiedenartiger Beobachtungen ist zum vorneherein das Verhältnis der entsprechenden *Gewichte* festzulegen, wobei man sich auf angenommene mittlere Fehler für die Beobachtungen stützt.

Beim *Bernhardin* waren die Annahmen:

Die *Richtungen* wurden alle mit gleichem Gewicht in die Ausgleichung eingeführt, wobei als mittlerer Fehler einer beobachteten Richtung $\pm 3{,}3^{cc}$ angenommen wurde. Dieser Wert ergibt sich aus den Widersprüchen in den Winkelsummenbedingungen der 3 Polygonschlaufen:

Schlaufe	*Widerspruch*
A–D	$+18^{cc}$
D–G	$+\ 7^{cc}$
G–I	$-\ 4^{cc}$

Für die *Distanzen* war die Grundannahme ein mittlerer Fehler von ± 1 cm für eine einmal gemessene horizontale Distanz, unabhängig von der Länge der Strecke. Zudem wurde folgenden Gesichtspunkten Rechnung getragen:

1. Anzahl der Distanzmessungen
2. Unsicherheit der Reflektorhöhe
3. Einfluß der Lotabweichungen. Da diese nicht bekannt sind, wurde ihr Einfluß auf jede Distanz für einen durchschnittlichen Wert von 15^{cc} gerechnet.

Die Berücksichtigung der 3 Elemente ergibt an den reduzierten Distanzen angenommene mittlere Fehler von 7 bis 22 mm, womit für jede Strecke ein anderes Gewicht festgelegt ist.

Bei den wenigen überschüssigen Beobachtungen (Belchen 3, Bernhardin 9) kann die Ausgleichung nach *bedingter Methode* gut mit einer Tischrechenmaschine erfolgen. Beim Polygonnetz Bernhardin zum Beispiel haben die 16 oberirdischen Distanz- und 32 Richtungsbeobachtungen 9 Bedingungsgleichungen zu erfüllen: 3 Winkelsummen- und 6 Koordinatenbedingungen in 3 gemeinsamen Punkten. Da Stationen mit 4 Richtungen vorliegen, hat die Ausgleichung über Richtungen, nicht über Winkel zu geschehen. Wie bei Polygonzügen üblich, wurde die Ausgleichung in zwei Stufen durchgeführt. Die erste Stufe besteht darin, daß die 3 Winkelsummenbedingungen erfüllt werden, wodurch sich erste Richtungsverbesserungen ergeben. Dann folgt eine erste Durchrechnung des Polygonzuges von Portal Nord über Portal Süd und zurück zu Portal Nord, in der Reihenfolge 0–8–16 (siehe Bild 5). Die Lagewidersprüche in den drei gemeinsamen Punkten betragen:

A	1,4 cm
D	7,7 cm
G	7,3 cm

In der 2. Stufe der Ausgleichung werden die 6 Koordinatenwidersprüche getilgt und nochmals die 3 Winkelsummenbedingungen erfüllt. Addiert man die Verbesserungen der ersten und zweiten Stufe, so ergeben sich die gleichen Gesamtverbesserungen, wie wenn man alle 9 Bedingungen in einer Stufe behandelt hätte.

Aus der bedingten Ausgleichung ergeben sich die an den Beobachtungen anzubringenden Verbesserungen und damit ein widerspruchsfreies System. Die anschließende Berechnung der Koordinaten der Absteckungsfixpunkte und der angeschlossenen Polygonzüge im Stollen erfolgte in einem lokalen, grob orientierten Koordinatensystem. Eine Transformation auf das Landessystem ist für die Absteckung nicht nötig und nur zu Vergleichszwecken erforderlich.

Natürlich kann die Ausgleichung des Geodimeter-Polygonnetzes auch nach der *vermittelnden Methode* geschehen. Sie hat den Vorteil, daß sich alle gewünschten Fehlerellipsen direkt aus der Gewichtskoeffizientenmatrix der Unbekannten bestimmen lassen, wogegen es bei der bedingten Ausgleichung nötig ist, diese über Funktionen der ausgeglichenen Un-

bekannten zu bestimmen. Da für die elektronische Rechenmaschine CDC-1604 der ETH ein vermittelndes Ausgleichungsprogramm besteht, in das die Fehlergleichungen eingegeben werden und wo als Output die Unbekannten, ihre mittleren Fehler, die Verbesserungen und die vollständige Q-Matrix erscheinen, spielt die Tatsache, daß ziemlich viele Unbekannte auftreten, keine Rolle. Eine vermittelnde Ausgleichung für das Geodimeternetz Bernhardin präsentiert sich zum Beispiel, wenn neben den oberirdischen Polygonzügen auch die zwei unterirdischen freien Züge in die Ausgleichung einbezogen werden, folgendermaßen:

	oberirdisch	*im Tunnel*	
Netzpunkte	14	$2 \times 5 = 10$	
Beobachtungen			
Distanzen	16	$2 \times 5 = 10$	
Richtungen	32	$2 \times 9 = 18$	
	48	28	$n = 76$
Unbekannte			
Koordinaten $28-3 = 25$		$2 \times 10 = 20$	
Orientierungen	14	$2 \times 4 = 8$	
	39	28	$u = 67$
			$n-u = 9$

Es ergeben sich somit 76 Fehlergleichungen und 67 Unbekannte; die 9 überschüssigen Beobachtungen entsprechen den 9 Bedingungsgleichungen der bedingten Ausgleichung. Es ist klar, daß die beiden freien Polygonzüge von je 5 Seiten, die von den beiden Stollenportalen aus in die Stollenmitte zum Durchschlag führen, den Grad der Überbestimmung nicht verändern und daß sich an den Beobachtungen im Stollen keine Verbesserungen ergeben, da diese ja keinem Zwang unterliegen. Trotzdem werden hier die 2 Polygonzüge im Stollen in der Ausgleichung zusammen mit den oberirdischen Messungen behandelt, um den mittleren zu erwartenden Durchschlagsfehler einwandfrei berechnen zu können. Bezüglich der Richtungsmessungen auf den Stollenportalen nehmen wir hier an, daß die Einmessung der ersten Stollenrichtung in einem Satz mit der Messung der oberirdischen Punkte erfolgt, das heißt, daß auf den Portalpunkten nur eine Orientierungsunbekannte auftritt.

Um das Netz festzulegen, müssen 3 Elemente festgehalten werden, zum Beispiel ein Punkt und die Abszisse oder Ordinate eines andern, oder ein Punkt und eine Richtung. Der Maßstab ergibt sich aus den Geodimetermessungen. In unserm Falle wurde Portalpunkt Nord (A) und die Richtung A–B_1 als fest eingeführt. Diese Richtung wird festgehalten, indem man in allen Fehlergleichungen, in denen B_1 auftritt, dY von B_1 eliminiert durch die Beziehung $dY = \mathrm{tg}\,(A\,B_1)\,dX$. So lautet zum Beispiel die Fehlergleichung für die Richtungsmessung auf A nach B_1: statt

$v = a\,dX + b\,dY + f +$ Restorientierung wird gesetzt: $v = [a + b \operatorname{tg} (AB_1)]\,dX + f +$ Restorientierung.

Bei Ausgleichungen ohne elektronische Rechenmaschinen ist es nötig, die Orientierungsunbekannten auf allen Stationen vorgängig zu eliminieren, damit der durch die Anzahl der Unbekannten bedingte Rechenaufwand nicht zu groß wird. Bei elektronischen Maschinen mit genügender Rechenkapazität ist dies nicht mehr erforderlich und wurde hier nicht getan. Die Maschine benötigt für die gesamte Ausgleichung eine Rechenzeit von etwa 3 Minuten.

5. Genauigkeit der Stollenabsteckung mit Geodimeter-Polygonzügen

5.1. Genauigkeit der Messungen auf Grund der Ausgleichung

Aus der Ausgleichung ergeben sich die mittleren Fehler für die auf die Rechenfläche reduzierten Beobachtungen, das heißt mit Einschluß aller Unsicherheiten der Reduktion und der Zentrierung. Es ergeben sich folgende mittlere Fehler:

	Belchen	*Bernhardin*
Für die Richtung	$\pm 3{,}4^{cc}$	$\pm 5{,}5^{cc}$
Für die Distanz	$\pm 1{,}6$ cm	$\pm 1{,}6$ cm

Der Unterschied der Genauigkeit in den Richtungen ist bei der geringen Zahl überschüssiger Beobachtungen nicht verbürgt und zudem bedingt durch das verschieden eingeführte Gewichtsverhältnis. Die Richtungsgenauigkeit der Polygonzüge beim Bernhardin entspricht derjenigen, die sich aus der Triangulation ergeben hatte. Der mittlere Distanzfehler beim Belchen gilt für irgendeine der Strecken, stellt also einen Mittelwert dar, wogegen er beim Bernhardin sich auf die Gewichtseinheit bezieht, das heißt auf eine einmal gemessene, horizontale Distanz.

Zur Illustration der Genauigkeit der reduzierten Distanzen folgt hier die Tabelle der aus der Ausgleichung erhaltenen Distanzverbesserungen:

Netz	*Strecke*	*Länge (m)*	*Anzahl Messungen*	*Eingeführtes Gewicht*	*Verbesserung (cm)*
Belchen	422–214	2487	5	1	+1,1
	214–418	2676	3	1	−0,2
	418–CH	2156	2	1	−0,9
	CH–28	1528	1	1	−0,4
	28–422	1020	1	1	+0,4
Bernhardin	A–B_1	586	2	2,0	−0,4
	A–B_2	350	1	1,0	−1,2
	B_1–C_1	1781	1	0,3	+1,9
	B_2–C_2	1268	1	0,2	−0,9
	C_1–D	1083	1	1,0	+0,5
	C_2–D	1093	1	1,0	−0,5

Netz	*Strecke*	*Länge (m)*	*Anzahl Messungen*	*Eingeführtes Gewicht*	*Verbesserung (cm)*
Bernhardin	D–E_1	1115	1	0,8	−0,3
	D–E_2	1055	1	0,8	+0,3
	E_1–F_1	844	1	1,0	−0,3
	E_2–F_2	921	1	1,0	+0,3
	F_1–G	1087	1	0,6	−0,5
	F_2–G	1089	2	1,0	+0,3
	G–H_1	2591	1	0,8	+0,9
	G–H_2	2565	1	0,7	−0,8
	H_1–I	1012	1	0,6	−2,6
	H_2–I	726	2	2,0	+0,6

5.2. Zu erwartende Genauigkeit der Absteckungen mit dem Geodimeter

Das wichtigste Kriterium für die Güte einer Stollenabsteckung, ob diese nun in klassischer Weise oder mit Hilfe von Geodimeter-Polygonzügen erfolgt, ist die zu erwartende Genauigkeit des Zusammentreffens beider Stollenvortriebe beim Durchschlag. Hier kommt besonders zum Ausdruck, daß eine gute relative Genauigkeit zwischen benachbarten Punkten wichtiger ist als zwischen entfernten Punkten. Die Genauigkeit eines Portals relativ zum andern zum Beispiel ist hauptsächlich insofern von Bedeutung, als sie sich direkt auf den Durchschlagsfehler auswirkt. Eine genauere Betrachtung zeigt aber, daß dies nur in bezug auf die Längen und Höhen der Fall ist, für den Querfehler jedoch nicht allgemein gilt.

Die Genauigkeit des Durchschlages in der Lage wird dargestellt durch die Fehlerellipse des mittleren zu erwartenden Durchschlagsfehlers. Sie drückt die Unsicherheit der Lagebestimmung eines Stollenendpunktes relativ zum andern Stollenendpunkt aus, wenn man sich die beiden Punkte, gerade vor dem Durchschlag, noch durch eine kleine, letzte Trennwand geschieden denkt.

Will man für eine gegebene Meßanlage die zu erwartende Durchschlagsgenauigkeit berechnen, so hat man dabei die Art der Berechnung des oberirdischen Netzes zu berücksichtigen, insbesondere die Anzahl der Schritte, in die man die Ausgleichung aufgeteilt hat. Bei der im allgemeinen üblichen Berechnung des mittleren Durchschlagsfehlers, die darin besteht, daß man aus der Ausgleichung des oberirdischen Netzes die mittlere Fehlerellipse der Lagebestimmung eines Portals relativ zum andern bestimmt und diese dann noch um die Beträge vergrößert, die sich aus der Unsicherheit der Orientierung auf den Portalpunkten und der Messung der zwei freien Polygonzüge im Stollen ergeben, nimmt man an, daß oberirdische Messungen, Orientierungen auf den Portalpunkten und Polygonzüge im Stollen in bezug auf Fehlerfortpflanzung unabhängig voneinander sind. Man vernachlässigt also dabei die gegenseitige Abhängigkeit, die dadurch gegeben ist, daß die Orientierung auf den Portalpunkten eine Funktion der ausgeglichenen Anschlußrichtungen und damit aller oberirdischen Messungen ist.

Setzt man die Ausgleichung aller ober- und unterirdischen Messungen in einem Guß an, so haben die Polygonmessungen im Stollen keinen Einfluß auf die ausgeglichenen Koordinaten der oberirdischen Polygonzüge, doch wird auf diese Weise die Fehlerfortpflanzung richtig erfaßt.

Der Fehlerbetrachtung wurden folgende *Annahmen* zugrunde gelegt:

- Als mittlere Fehler für die oberirdischen Messungen wurden die Beträge eingeführt, die sich aus der Ausgleichung ergaben. Für die Distanz- und Richtungsmessungen im Stollen wurden die gleichen Werte angenommen; die Fehlerannahmen dürften hier eher etwas zu ungünstig sein.
- Im Stollen wurden gestreckte, gleichseitige Polygonzüge angenommen, und zwar

  beim Bernhardin je 5 Seiten zu 680 m,
  beim Belchen je 8 Seiten zu 275 m.

  Der Einfluß dieser Vernachlässigungen gegenüber der tatsächlichen Polygonzugsform auf den mittleren Durchschlagsfehler ist klein.

Betrachten wir nun die Ergebnisse beim *Bernhardin*. In Bild 5 sind folgende Fehlerellipsen dargestellt:

1. Fehlerellipse des mittleren *Abschlußfehlers* für die Polygonschlaufe Nord–Süd–Nord (19 km). Sie ist in unserem Zusammenhang ohne Interesse.
2. Mittlere Fehlerellipse für die Lage von *Portal Süd bezüglich Portal Nord.*

Die Halbachsen der Fehlerellipse betragen:

	in Längsrichtung	*in Querrichtung*
– bei zwei oberirdischen Polygonzügen	±3,4 cm	±10,8 cm
– bei nur einem oberirdischen Polygonzug	±4,7 cm	±15,5 cm

Wie es bei der angewandten Meßmethode zu erwarten war, ist die Absteckung des Stollens von Anfangs- zu Endpunkt in Querrichtung bedeutend unsicherer als in Längsrichtung.

3. Fehlerellipse des mittleren *Durchschlagsfehlers in Stollenmitte*

Die Halbachsen betragen:

	in Längsrichtung	*in Querrichtung*
– bei zwei oberirdischen Polygonzügen	±6,4 cm	±10,0 cm
– bei nur einem oberirdischen Polygonzug	±7,2 cm	±11,8 cm

Bei dieser Fehlerberechnung in einem Schritt zeigt sich somit, daß der mittlere Durchschlagsfehler in Querrichtung kleiner ist als der mittlere

Querfehler von Portal zu Portal. Der Anteil der zufälligen Meßfehler der oberirdischen Meßanlage am mittleren Querfehler beim Durchschlag, berechnet für fehlerlose Messungen, das heißt unendliche Gewichte im Stollen, beträgt nur ±6,2 cm. Der mittlere Querfehler von Portal zu Portal geht somit nur zum Teil in den mittleren Querfehler beim Durchschlag ein.

Beim *Belchen* lauten die Ergebnisse:

1. Mittlere Fehler der Lage von Portal Süd bezüglich Portal Nord:

   in Längsrichtung ±1,6 cm
   in Querrichtung ±1,8 cm

2. Mittlere Durchschlagsfehler in Stollenmitte:

   in Längsrichtung ±6,6 cm
   in Querrichtung ±4,5 cm

Hier ist der mittlere Querfehler in Stollenmitte größer als bei den Portalen, was darauf zurückzuführen ist, daß die Anzahl der Polygonseiten im Stollen bedeutend größer ist als bei den oberirdischen Polygonzügen. Die Fehlerbetrachtung wurde übrigens hier in zwei Schritten durchgeführt. Da der Anteil der Messungen im Stollen stark überwiegt, konnte die Tatsache, daß der mittlere Querfehler der Portale nur zum Teil in den Querfehler beim Durchschlag eingeht, vernachlässigt werden. Eine Berechnung in einem Schritt würde nur eine geringe Verbesserung des mittleren Querdurchschlagsfehlers bringen. *(Schluß folgt)*

Voranzeige des SVVK

Im September 1966 wird im Fürstentum Liechtenstein die Hauptversammlung des Schweizerischen Vereins für Vermessung und Kulturtechnik stattfinden. Mit der Organisation ist der Ostschweizerische Geometerverein beauftragt. Das Organisationskomitee, bestehend aus dipl. Ing. H. Braschler, 9010 St. Gallen, dipl. Ing. H. Frommelt, 9490 Vaduz, dipl. Ing. R. Kreis, 7320 Sargans, und dem Unterzeichneten, hat beschlossen, zur Erinnerung an diese Tagung anstelle der üblichen Geschenke eine Schrift über das Fürstentum Liechtenstein und das St.-Galler Rheintal herauszugeben.

Die Ostschweiz steht also deutlich im Vordergrund, darf und kann aber nicht allein stehen. Darum soll als Schlußkapitel eine nach Branchen geordnete gesamtschweizerische Übersicht über die mit unserem Beruf verbundenen Wirtschaftszweige angefügt werden. Wir denken dabei vor allem an jene Firmen, welche den SVVK seit jeher großzügig unterstützten. Herr Braschler, als Redaktor der Festschrift, wird Ihnen gerne einen Vorschlag über die Plazierung Ihres Auftrages unterbreiten, und unser Kassier, Herr Kreis, wird Ihren Beitrag auf das Konto «Sarganserländische Spar- und Kreditkassa, Sargans, Konto OGV, Hauptversammlung Vaduz 1966» freudig und dankbar entgegennehmen. *E. Berchtold*