

Paper-ID: VGI_197515



Distomat DI 10, Tellurometer MA 100, Mekometer ME 3000. Eine vergleichende Studie dieser drei Distanzmeßgeräte im selben Testnetz

Herbert Wallner ¹

¹ *Tiroler Wasserkraftwerke AG, Landhausplatz 2, A-6010 Innsbruck*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **63** (4), S. 165–170

1975

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Wallner_VGI_197515,  
Title = {Distomat DI 10, Tellurometer MA 100, Mekometer ME 3000. Eine  
vergleichende Studie dieser drei Distanzme{\ss}ger{"a}te im selben  
Testnetz},  
Author = {Wallner, Herbert},  
Journal = {{{"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessungswesen und  
Photogrammetrie},  
Pages = {165--170},  
Number = {4},  
Year = {1975},  
Volume = {63}  
}
```



Bodenseeufer rund um Österreich bis zum Anstoß der österreichisch-schweizerischen Staatsgrenze an das Bodenseeufer. Das österreichische Bodenseeufer ist fast 30 km lang.

Staatsverträge über den Verlauf der Staatsgrenzen auf dem Bodensee sind durch die stark unterschiedlichen Auffassungen der drei Uferstaaten blockiert.

Die interessierten österreichischen Stellen sollten aber gelegentlich prüfen, ob es nicht sinnvoller und eindeutiger wäre, wenn anstelle der 25-m-Isobathe die Grenze des dem Ufer vorgelagerten 2 km breiten Streifens der Ausschließlichkeitszone, wie sie die drei Uferstaaten im „Übereinkommen über die Schifffahrt auf dem Bodensee“ festlegten, unser Bundesgebiet auf dem See abschließen könnte. Dabei wäre auch zu bedenken, daß die Grenze des 2-km-Streifens wesentlich einfacher als die 25-m-Isobathe erfaßt werden kann.

Ebenso sollten jene Teile der österreichischen Bodenseegrundstücke, die nach offizieller österreichischer Auffassung außerhalb der Grenze unseres Bundesgebietes liegen, also ungeteiltes Eigentum der drei Uferstaaten sind, im österreichischen Kataster und im Grundbuch gelöscht werden.

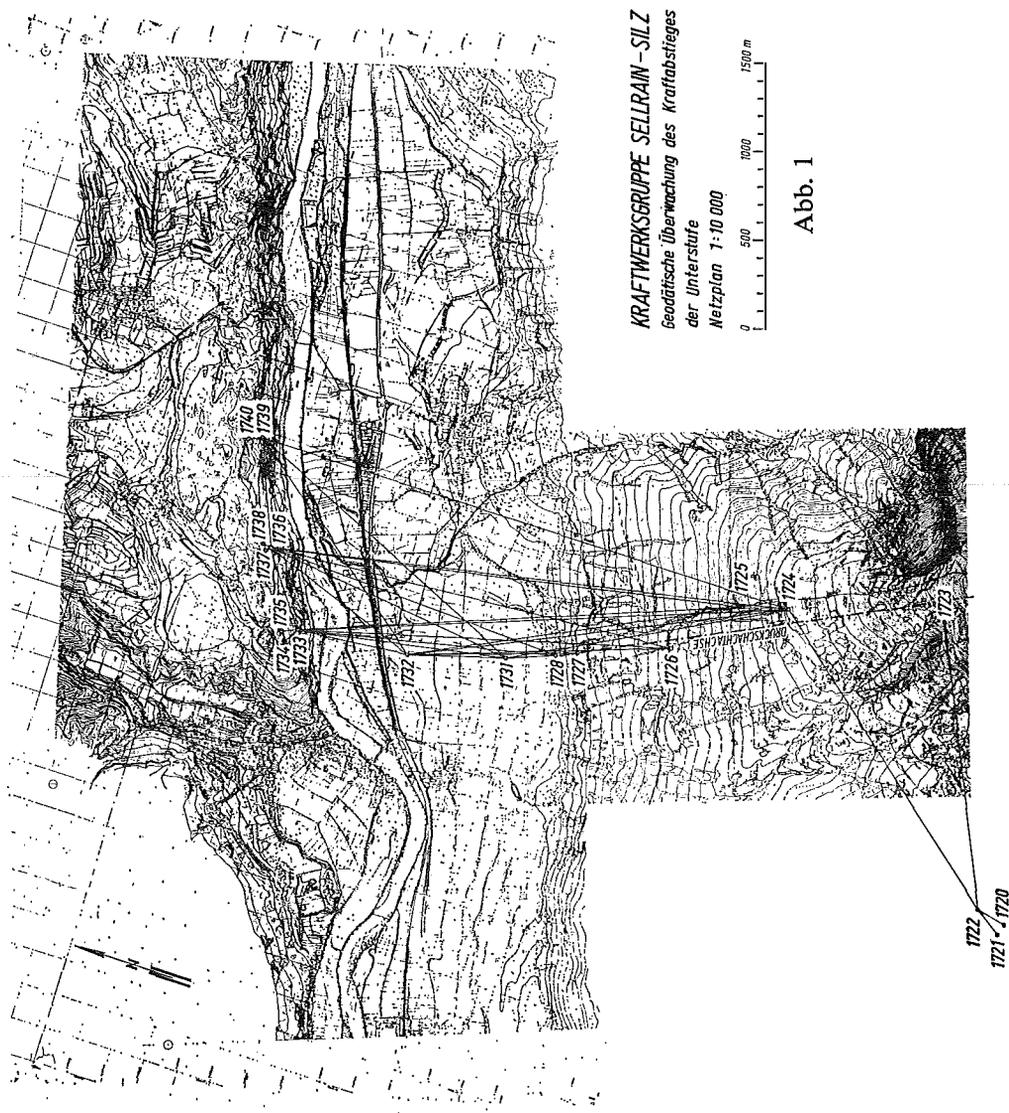
Distomat DI 10, Tellurometer MA 100, Mekometer ME 3000 **Eine vergleichende Studie dieser drei Distanzmeßgeräte im selben Testnetz**

Von *Herbert Wallner*, Innsbruck

Die Tiroler Wasserkraftwerke AG (TIWAG) planen in den nördlichen Stubai Alpen den Bau der Kraftwerksgruppe Sellrain-Silz. Die diesem Projekt zugehörige Unterstufe weist zwischen dem Speicher Längental und dem Krafthaus Silz einen Druckschacht mit einer Fallhöhe von rund 1250 m auf. Bei der Wasserrechtsverhandlung wurde der TIWAG die Auflage gemacht, diesen Druckschachthang auf Bewegungen hin geodätisch zu untersuchen. Vor allem geht es darum, eventuell auftretende Relativbewegungen zum nördlich des Inntales gelegenen Kalkmassiv zu erfassen (Abb. 1).

Das Inntal bildet hier eine Trennlinie zwischen dem kristallinen Schiefer im Süden und dem Kalkgebirge im Norden und gilt als tektonisch gestörte Zone. Aus diesem Grunde erwartet man hier nicht nur eine lokale Hangkontrolle, sondern hofft, auf lange Sicht vielleicht auch relative Erdkrustenbewegungen zu erfassen. Man setzt also in die geodätischen Beobachtungen höchste Erwartungen und verlangt zudem, daß die Messungen über Jahrzehnte fortgesetzt werden können.

Zur Anlage eines geeigneten trigonometrischen Netzes sind die lokalen Gegebenheiten denkbar ungeeignet. Wenn auch nördlich des Inns im Kalkgebirge gute Voraussetzungen bestehen, Fixpunkte zu schaffen, so hat man im Gegenhang diesbezüglich die größten Schwierigkeiten. Zwar findet man auch dort anstehenden Fels, wo eine sichere Vermarkung vorbereitet werden kann, aber die Sichten sind meist nicht gegeben, da der Druckschachthang stark bewaldet ist. So findet man in der Linie des Druckschachtes nur einzelne Blößen, wo erstens eine dauerhafte Punktstabilisierung möglich ist und zweitens die notwendigen Visuren vorhanden



sind. Eine rein trigonometrische Überwachung scheidet aus, da die ungünstige Netzkonfiguration zu große mittlere Punktlagefehler erwarten ließe.

Wir versuchten nun, die Triangulation mit einer Präzisionsdistanzmessung zu kombinieren. Aus Abbildung 1 ist der Netzaufbau zu entnehmen. Allerdings wurden hier einige Richtungen weggelassen, um die Übersichtlichkeit zu erhalten. Im Herbst 1973 wurde die erste Beobachtung durchgeführt. Die Richtungsmessung erfolgte mit einem Sekundentheodolit Wild T3, die Streckenmessung mit einem Tellurometer MA 100. Die Längen wurden von einem Meßtrupp der DOKW beobachtet. Alle Meßstationen sind durch Pfeiler stabilisiert. Einige Pfeiler wurden durch weitere Punkte rückversichert. Zusätzlich hat man beide Talseiten durch ein Präzisionsnivellement miteinander verbunden.

Durch Zufall ergab sich im vergangenen Jahr die Möglichkeit, mit dem Mekometer ME 3000 der Fa. Kern Testmessungen durchzuführen. Wir wählten zu diesem Zweck unser Basisnetz, gebildet von den Punkten 1728, 1731, 1732, 1733, 1736 und 1739, aus und hatten dadurch die Möglichkeit, dieses Instrument dem Tellurometer gegenüber zu vergleichen. Aus Interesse haben wir auch dieselbe Testfigur mit dem Distomat DI 10 ausgemessen. Wenngleich dieses Instrument den beiden anderen, was Genauigkeit betrifft, unterlegen sein müßte, schien es uns doch wertvoll, einen Vergleich mit dem Tellurometer als auch dem Mekometer herbeizuführen. Im Testnetz wurden alle möglichen Seitenkombinationen gemessen; und zwar hin und zurück.

Zur Beurteilung der drei zur Verfügung stehenden Entfernungsmesser wurde die Testfigur als reines Streckennetz ausgeglichen; und zwar als freies Netz mit singulärer Normalgleichungsmatrix. Eine Auflösung singulärer Matrizen nach [1] oder [2] liefert die Korrelationsmatrix Q der Unbekannten und damit die Unbekannten selbst sowie die in unserem Fall noch mehr interessierenden Q -Werte, mit denen sich die Fehlerrellipsen berechnen lassen. Die Berechnung der Korrelationsmatrix Q hat zudem den Vorteil, daß die Auflösung der Normalgleichungen nur einmal durchgeführt werden muß. Für weitere Meßepochen kann dann die Auflösung rasch über die Normalinverse erfolgen. Die zur singulären Normalgleichungsmatrix gehörende Korrelationsmatrix hat zudem die Eigenschaft, daß ihre Spur und somit die Fehlerquadratsumme der Unbekannten ein Minimum wird.

$$\Sigma m_x^2 = m_o^2 \Sigma Q_{ii} = \text{Min.}$$

Daraus folgt als Kriterium zur Begutachtung eines Netzes als auch des verwendeten Meßmittels der mittlere Punktlagefehler

$$m_p = \pm m_o \sqrt{\frac{\text{Spur } Q}{n}} \quad n = \text{Anzahl der Punkte.}$$

Dieser mittlere Punktlagefehler soll uns nun als Maßstab dienen, um die jeweilige Messung mit Distomat DI 10, Tellurometer MA 100 und Mekometer ME 3000 zu bewerten.

1. Für das Streckennetz, ausgemessen mit dem Distomat DI 10, erhielten wir einen mittleren Punktlagefehler $m_p = \pm 6,4$ mm, wobei m_o , der Fehler an einer Seite, gleich $\pm 3,9$ mm betrug. An den gemessenen, schrägen Seiten sind nur die üblichen, laut Gebrauchsanweisung vorgesehenen atmosphärischen Korrekturen angebracht worden. Das Ergebnis ist sehr befriedigend und erfüllt bei weitem die seitens der Instrumentenbaufirma gesetzten Grenzen. Die Feldarbeit war an einem Tag erledigt.

2. Mit dem Tellurometer MA 100 liegen zwei unabhängige Beobachtungen vor. Die erste Messung erfolgte in der Zeit vom 16. bis 20. Oktober 1973. Die lange Meßdauer ist darauf zurückzuführen, weil nicht nur das dieser Untersuchung zugrunde liegende Testnetz beobachtet wird, sondern weit mehr Punkte und Strecken gemessen werden. Die Wetterbedingungen waren für die Messung ausgesprochen günstig. Während der ganzen Meßperiode herrschten konstante meteorologische Bedingungen. Eine hohe Wolkendecke verhinderte zudem störende Sonneneinstrahlungen. Sowohl

am Instrumentenstandpunkt als auch beim Reflektor wurden Luftdruck und mit einem Psychrometer die Temperatur trocken und die Temperatur feucht gemessen. Die daraus resultierenden Korrekturen wurden an den gemessenen Seiten angebracht. Das Ausgleichungsergebnis lautet hier $m_p = \pm 1,2$ mm bei einem mittleren Streckenfehler von $m_o = \pm 0,71$ mm.

Eine Wiederholungsmessung fand in der Zeit vom 25. bis 27. Juni 1974 statt. Die Witterungsbedingungen waren nicht mehr so ausgeglichen. Sonnenschein wechselte mit leichtem Regen ab. Trotzdem konnte das Ergebnis mit $m_p = \pm 0,86$ mm und $m_o = \pm 0,53$ mm sogar verbessert werden.

3. Das dritte Entfernungsmeßgerät, das Mekometer ME 3000, kam im April 1974 zum Einsatz. Die Beobachtungen zogen sich über drei Tage hin, da gleichzeitig das Gerät einem größeren Interessentenkreis vorgestellt und erläutert wurde. Zum Teil erfolgten die Messungen bei bedecktem Himmel und regnerischem, kühlem Wetter, zum Teil bei stechendem Sonnenschein.

Der Einfluß des Brechungsindex der Luft auf die Entfernungsmessung wird im Mekometer ME 3000 automatisch kompensiert. Das bedeutet, daß unter homogenen atmosphärischen Bedingungen das Meßergebnis unabhängig vom herrschenden Brechungsindex ist [3].

Wird nun eine Strecke von beiden Enden gemessen, müßte ihr Mittel frei sein von den Einflüssen aus Druck- und Temperaturdifferenzen. Allerdings gilt dies nur, wenn zwischen den Beobachtungen keine zusätzlichen Änderungen aufgetreten sind. Die auch hier durchgeführte Ausgleichung erbrachte folgende Werte: $m_p = \pm 1,4$ mm und $m_o = \pm 0,88$ mm.

Ein Ergebnis, das sich durchaus den von der Herstellerfirma gesetzten Grenzen einordnet. Wie aber anderen Orts festgestellt wurde, können mit diesem Gerät weit geringere mittlere Fehler erreicht werden. So wird beispielsweise in [4], allerdings bei einem Netz wesentlich kleinerer Ausdehnung, von mittleren Distanzfehlern von $\pm 0,28$ mm berichtet.

Bei Deformationsmessungen an Staumauern lag m_o bei $\pm 0,4$ mm und bei einer großflächigen Hangüberwachung, wo zum Teil sogar über Stative gemessen wurde, erreichte man Werte von $\pm 0,7$ mm. Diese Ergebnisse wurden mir entgegenkommend von Herrn *Dipl.-Ing. U. Meier*, Minusio, Schweiz, zur Verfügung gestellt.

Der diesen Messungen gegenüber größere mittlere Distanzfehler in unserem Testnetz ließ uns nicht ruhen, nach Ursache und eventuellen Fehlerquellen zu forschen.

Zunächst wurde die Additionskonstante, die sich auf die Kombination Gerät — Reflektor bezieht, bestimmt. An sich wird diese Konstante vom Werk ermittelt und eingestellt, so daß sie bei späteren Messungen nicht mehr berücksichtigt werden muß. Wir haben nun trotzdem die Additionskonstante als Unbekannte in die Ausgleichung eingeführt, um hier einen möglichen Zwang zu eliminieren. Das Ergebnis wurde dadurch aber nur unwesentlich verbessert.

Auf eine weitere, mögliche Fehlerquelle hat uns die Fa. Kern verwiesen. Wie bereits angeführt, haben sich die Messungen über einige Tage hingezogen, wobei unterschiedliche atmosphärische Bedingungen auftraten. So wäre es durchaus denkbar, daß bei der automatischen Korrektur des Brechungsindex zwischen der Hin- und Rückmessung zu große Druck- und Temperaturdifferenzen angetroffen wurden.

Kraftwerksgruppe

SELLRAIN-SILZ

Geodätische Überwachung des Kraftabstieges der Unterstufe Basisnetz

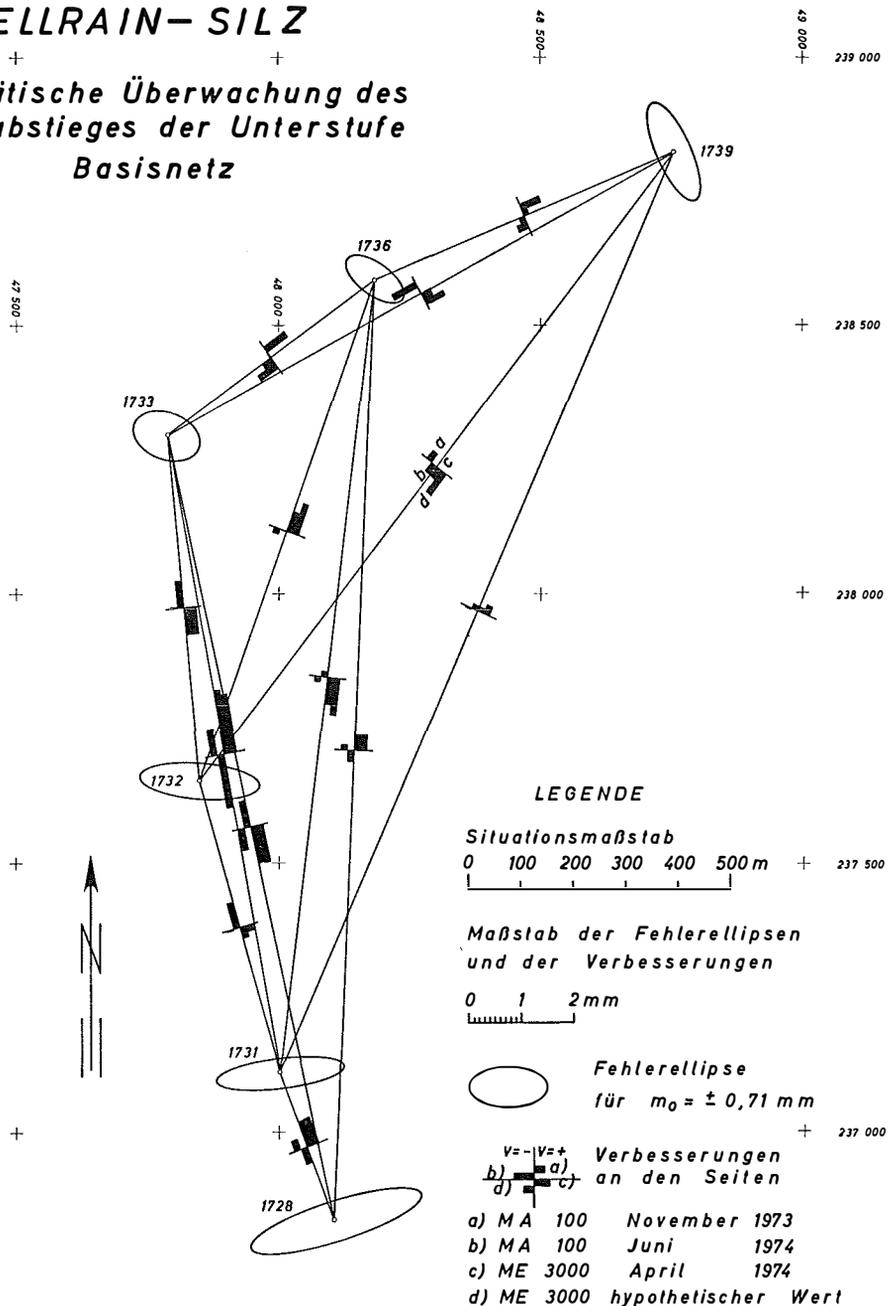


Abb. 2

Beim ME 3000 sind Instrumenten- und Reflektorhöhe gleich. Hin und zurück beobachtete Seiten lassen sich somit sofort vergleichen. Tatsächlich traten nun bei

allen Seiten, die vom Punkt 1739 aus gemessen wurden, verhältnismäßig starke Abweichungen (bis zu 13 mm) zur Gegenmessung auf. Dieser Pfeiler befindet sich oberhalb einer ca. 100 m hohen Felswand und gerade hier herrschte während der Messung starke Sonneneinstrahlung vor. Es wurde nun versucht, mit einer weiteren Temperaturkorrektur die auf diesem Pfeiler gemessenen Distanzen den Rückmessungen anzupassen. Obwohl diese zweite Korrektur rein hypothetischen Charakter hat, wurde eine zusätzliche Ausgleichung mit diesen verbesserten Werten vorgenommen. Allerdings hat das Ergebnis mit $m_p = \pm 1,6$ mm und $m_o = \pm 1,0$ mm keine Genauigkeitssteigerung gebracht.

Haben wir mit einem mittleren Punktlagefehler von ca. $\pm 1,0$ mm für das Tellurometer und $\pm 1,4$ mm für das Mekometer eine Schranke erreicht oder sind doch noch im Netz systematische Einflüsse verborgen, die das Ergebnis verfälschen? Aus Abb. 2 entnimmt man, daß die größten Verbesserungen bei den Seiten auftreten, die etwa in der Richtung 1728—1733 liegen. Das bringt mir ein Referat über einen Beitrag von Prof. Dr. Neubert in Erinnerung, worin über Störungen von Tellurometermessungen durch Gittermaste und Fahrdrähte berichtet wird. Im konkreten Fall quert eine 110-KV-Leitung die Strecke 1728 und 1731 sowie die elektrifizierte Arbergbahn die Seite 1732—1733. Alle Seiten von 1733 nach Süden kommen teilweise sehr nahe (10 bis 20 m) an diese Leitungen heran. Leider steht uns weder das eine noch das andere Präzisionsentfernungsmeßgerät zur Verfügung, um dieses Phänomen detailliert zu untersuchen, aber es wäre interessant zu erfahren, ob bei ähnlichen Beispielen derartige Differenzen bemerkt worden waren. Jedenfalls scheint die Fehlerverteilung die Vermutung zu bekräftigen, daß Magnetfelder stromführender Leitungen die elektromagnetische Distanzmessung beeinflussen.

In unserem Fall, wo letzten Endes vom Basisnetz Hangbeobachtungen abgeleitet werden, sind derartige Überlegungen von untergeordneter Bedeutung und eventuell auftretende Hangbewegungen genügend genau erfaßt. Zudem werden mit der kombinierten Punktbestimmung, wie sie hier angewandt wird, die in der Abb. 2 dargestellten Fehlerellipsen vor allem in der großen Achse kleiner und somit runder.

Literatur

- [1] Mittermayer, E.: Eine Verallgemeinerung der Methode der kleinsten Quadrate zur Ausgleichung freier Netze. ZfV Nr. 9/1971.
- [2] Mittermayer, E.: Zur Ausgleichung freier Netze. ZfV Nr. 11/1972.
- [3] Firma Kern, Bulletin 20 und 21.
- [4] Just, Chr.: Verschiebungsmessungen mit dem Mekometer ME 3000. „Vermessung, Photogrammetrie und Kulturtechnik“ 1974, Heft 3, S. 89.