



Die Kalibrierung des Tellurometers MA 100 für den Nahbereich

Johannes Fabiankowitsch ¹, Thomas A. Wunderlich ²

¹ Technische Universität Wien, Institut für Landesvermessung und Ingenieurgeodäsie, Abt. Ingenieurgeodäsie, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien

² Technische Universität Wien, Institut für Landesvermessung und Ingenieurgeodäsie, Abt. Ingenieurgeodäsie, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **74** (2), S. 94–100

1986

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Fabiankowitsch_VGI_198605,  
Title = {Die Kalibrierung des Tellurometers MA 100 f{"u}r den Nahbereich},  
Author = {Fabiankowitsch, Johannes and Wunderlich, Thomas A.},  
Journal = {"0sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessungswesen und  
Photogrammetrie},  
Pages = {94--100},  
Number = {2},  
Year = {1986},  
Volume = {74}  
}
```



Die Kalibrierung des Tellurometers MA 100 für den Nahbereich

Von J. Fabiankowitsch und Th. Wunderlich, Wien

Zusammenfassung

Unter Ausnutzung des geräteeigenen Ampèremeters ist es gelungen, eine Eichkurve für Distanzmessungen von 6 bis 78 Meter aufzustellen. Die in diesem Nahbereich sonst auftretenden Streckenfehler von bis zu ± 2 cm wegen Phaseninhomogenität konnten damit auf ± 2 mm reduziert werden.

Summary

Close-range measurements with the Tellurometer MA 100 are severely affected by phase-inhomogenities, causing errors up to ± 2 cm. A calibration function reducing those errors to ± 2 mm has been derived by means of the instrument's ampèremeter.

0. Einleitung

Moderne, ökonomisch ausgerichtete Bauweisen geben dem Ingenieurgeodäten immer geringere Toleranzen vor. So ist etwa bei stark differenzierten Fertigteilmontagen oder bei Fassadenabhängungen der Wunsch des Bauingenieurs, vom Geodäten millimetergenaue Montagemaße zu erhalten, nichts Ungewöhnliches mehr. Wegen Fertigungsungenauigkeiten und wärmebedingter Materialausdehnung erfolgt dann meist eine sinnvolle Einigung auf ca. $\pm (2-3)$ mm. Während der Einsatz aktueller elektronischer Theodolite bei derartigen Aufgaben bereits durchaus gebräuchlich ist, wird für die Streckenmessung noch gerne auf traditionelle Präzisionsdistanzmeßgeräte, wie z. B. das Tellurometer MA 100, zurückgegriffen. Gerade bei diesem Gerät aber, das für Distanzen größer 100 m eine innere Genauigkeit von $\pm 1,5$ mm ± 2 ppm problemlos liefert, treten im Nahbereich — bedingt durch Phaseninhomogenitäten — Schwierigkeiten auf.

1. Phaseninhomogenitäten

Auf Grund von bisher noch nicht völlig vermeidbaren Inhomogenitäten bei der sehr heiklen Herstellung der Diodensperrschicht, erzeugt jede Ga-As-Diode eine nur für sie allein typische Wellenfront (Zetsche, 1979), deren Deformation im Nahbereich spürbar wird. Da bei geringen Entfernungen ein im Verhältnis zur Gesamtfläche der Wellenfront größerer Ausschnitt auf den Reflektor trifft als bei großen Distanzen, treten im allgemeinen zwei oder mehr Reflexionsmaxima auf. Beim institutseigenen MA 100 lassen sich bei höhenmäßiger Änderung der Anzielung im Entfernungsbereich von 5—10 m drei Maxima feststellen. Größere Distanzen zeigen nur mehr ein allerdings unscharf ausgeprägtes Reflexionsmaximum.

Jenach Anzielung und Entfernung trifft nun ein anderer Teil der Meßkeule den Reflektor. Seine Phasenlage bestimmt den Distanzwert und jede anzielungsabhängige Differenz zur Soll-Strecke kann als Änderung der Reflektorkonstanten wegen Phaseninhomogenität gedeutet werden. Übersprecherscheinungen durch zu starke Reflexe im Nahbereich vergrößern noch die Beträge der Fehlmessungen (Kahmen, 1977).

2. Fehlrichtdiagramme

Das auf dem Sende- und Empfangstabus des MA 100 montierte Zielfernrohr ist für Entfernungen größer 70 m gedacht. Es läßt sich zwar für die horizontale Ausrichtung so justieren, daß das Reflexionsmaximum in die Reflektormitte zu liegen kommt, eine Vertikaljustierung ist aber wegen der großen Exzentrizität (11 cm) zum Meßstrahl für den Nahbereich nicht möglich. Die vertikale Ausrichtung auf Reflektormitte muß damit eine wesentliche Abweichung vom Reflexmaximum bedeuten.

Zur Erfassung der Auswirkung von Fehlzielungen eignen sich Fehlrichtdiagramme, die für bestimmte Entfernungen die Änderungen der Meßergebnisse bei schrittweisem Abweichen von der Mittelzielung (oder Maximalreflex) angeben.

Diesbezügliche Untersuchungen für das Tellurometer MA 100 sind in (Wutzel, 1974) ausführlich dokumentiert. Aus den Testreihen geht hervor, daß schon geringe Abweichungen (± 2 cm) von der Soll-Zielung das Meßergebnis spürbar verändern (bis zu 1 cm). Wie der Autor weiter nachweist, erzeugt auch die Verwendung von Blenden zur Beschränkung der Reflexintensität scheinbare Streckenänderungen von 5–8 mm. Dieser für eine feste Blendenstellung konstante Fehler beruht wieder auf Phasenhomogenitäten, da nur ein bestimmter Ausschnitt der deformierten Wellenfront für die Messung genutzt wird.

3. Nahbereichskalibrierung

3.1. Grundgedanke

Will man die optische Zielung wegen der damit verbundenen Probleme vermeiden, so muß die Ausrichtung auf ein reelles oder definiertes Reflexmaximum erfolgen. Da die horizontale Justierung des Fernrohres auf maximalem Reflex in Reflektormitte für den gesamten Entfernungsbereich Gültigkeit besitzt, beschränkt sich das Suchen nach dem Intensitätsmaximum auf die Vertikalbewegung. Eine direkte, eindeutige Einstellung mit Hilfe des Ampèremeters ist nach 1. leider nicht möglich.

Dagegen ist der Durchgang des Ampèremeterzeigers durch den letzten (ersten) Teilstrich vor (nach) Erreichen des verschwommenen Intensitätsmaximums (Abb. 1) während der Vertikalbewegung durchaus scharf zu beobachten. Bringt man um den Vertikalfeintrieb eine Skala und auf ihm selbst einen Index an, so kann man bequem den Mittelwert der Durchgangsablesungen einstellen (Abb. 2). Dieser Wert entspricht dem zu einer diskreten Entfernung gehörigen „definierten Reflexionsmaximum“. Das Gerät muß demnach nur mehr im Labor für den kritischen Distanzbereich von Meter zu Meter (Halbmeter zu Halbmeter, s. 4.) in der beschriebenen Weise geeicht werden. Eine Korrekturtafel oder ein Eichdiagramm gestattet es dann, die der jeweiligen im Feld gemessenen Kurzstrecke entsprechende Reflektorkonstante zu entnehmen.

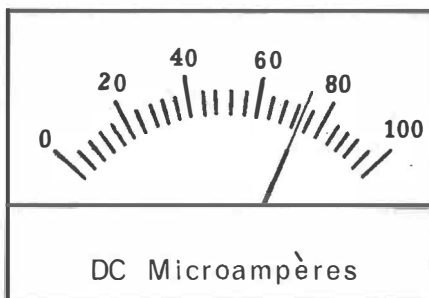


Abb. 1

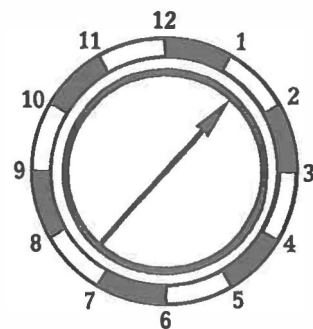


Abb. 2

3.2. Eichung

Die Eichmessungen wurden im Meßkeller des Institutes im Entfernungsbereich von 6 bis 78 Meter ausgeführt. Als Längennormale dienten simultane Vergleichsmessungen mit einem HP-5526A-Laser-Doppler-Interferometer, wobei zufolge der beschränkten Länge der Meßbank (50 m) die Strecken bis ca. 40 m mit dem MA 100 direkt, jene über ca. 40 m über eine spezielle Planspiegelmeßanordnung einfach gebrochen beobachtet wurden.

3.2.1. Meßanordnung

Die Durchführung der Eichmessung zerfällt infolge der beschränkten Länge des Meßkellers in zwei Abschnitte:

- a) Direktes Messen der ersten 40 Meter.
- b) „Indirektes“ Messen des Meßbereiches von 40–78 Meter.

Im ersten Teil stehen Laserinterferometer, Meßwagen und Tellurometer MA 100 in einer Flucht (Abb. 3). Ab 5,0 m wird die Strecke in 50-cm-Intervallen abgefahren, wobei die Intervalllängen mit dem Interferometer hergestellt werden und das MA 100 die jeweilige Absolutstrecke mißt. Die ersten 5,0 m werden mit einem Maßband, welches vorher mit dem Interferometer überprüft wurde, sichergestellt.

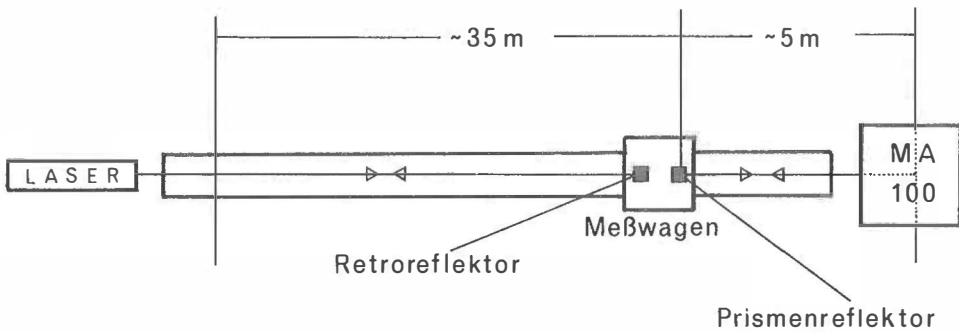


Abb. 3

In Abb. 4 ist der prinzipielle Aufbau für das indirekte Meßverfahren dargestellt.

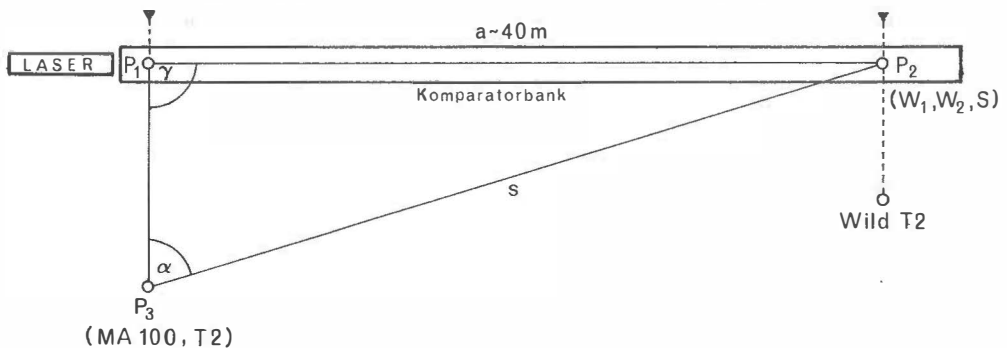


Abb. 4

Um die absolute Strecke $(a+s)$ zu erhalten, muß zuerst die Strecke s indirekt bestimmt werden. Dazu wird die Strecke a interferometrisch zweimal bestimmt, ihre Endpunkte ($P1$ und $P3$) werden optisch mit dem Theodolit Wild T2 an die Wand projiziert. Gleichzeitig werden sämtliche Dreieckswinkel gemessen. Das Laserinterferometer in $P1$, der Planspiegel S in $P2$ und das MA 100 in $P3$ werden mit Hilfe eines Nivelliers in einen Horizont gebracht.

Bei einem maximalen Fehler von $\pm 40 \mu\text{m}$ in der Seite a (Fluchtungsungenauigkeiten) und einem maximalen Winkelfehler von $\pm 7''$ in α und γ ergibt sich aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz ein Fehler in s von $\pm 0,06 \text{ mm}$. Die Genauigkeit der Strecke $(a+s)$ beträgt somit ungefähr $0,1 \text{ mm}$. Da der mittlere Fehler einer Einzelmessung des MA 100 $\pm 1,5 \text{ mm}$ beträgt, kann die Strecke $(a+s)$ als Eichbasis verwendet werden.

Der gesamte Messungsablauf geschieht folgendermaßen:

1. Reflektorwagen W1 (Abb. 5) wird in P2 positioniert, die Stehachse des Prismenreflektors mit Hilfe des T2 auf eine Zielmarke auf der Wand gefluchtet.
2. W1 wird von P1 nach P2 verschoben (ca. 40 m) und die Strecke a interferometrisch gemessen.
3. Ein zweiter Reflektorwagen W2 mit einer Zieltafel (zwangszentriert) wird auf P2 positioniert und nach P3 ausgerichtet, der Prismenreflektor auf W1 wird von einer Zieltafel ersetzt.
4. T2 wird auf P3 (zwangszentriert) gestellt und der Winkel α gemessen.
5. W1 wird von P1 entfernt, damit der Laserstrahl ungehindert nach P2 gelangen kann; in P2 wird die Zieltafel durch den Planspiegel S (Abb. 6) ersetzt und in P3 das MA 100 aufgestellt.
6. An den Stellschrauben des Planspiegels S wird nun so lange gedreht, bis der Laserstrahl genau auf den Mittelpunkt der Optik des MA 100 fällt.
7. W1 wird wieder auf P1 positioniert.
8. W1 wird in Richtung P2 in Halbmeterintervallen bei gleichzeitiger MA 100-Messung verschoben.
9. W1 nahe S (auf P2), Planspiegel S wird entfernt.
10. W1 auf P2 (Kontrolle der Strecke a).
11. Prismenreflektor auf W1 wird nach P3 ausgerichtet und die Strecke P3P2 wird gemessen.
12. T2 auf P3, die Zieltafeln stehen in P1 und P2 und α wird nochmals gemessen.
13. T2 auf P1, die Zieltafeln befinden sich in P2 und P3 und γ wird gemessen.
14. Zur Kontrolle wird auch noch der Winkel in P2 gemessen.
15. Während der Streckenmessung (a+s) werden die Parameter Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit gemessen.

Obwohl bei einer Reihe von Messungen die in der Gebrauchsanweisung empfohlene maximale Reflexintensität von 80% überschritten wurde, verzichteten wir auf die Verwendung von Blenden oder Filtern, da diese nach (Wutzel, 1974) die Strecken bis zu 8 mm verfälschen können.

3.2.2. Ergebnisse

Die Differenzen SOLL – IST zwischen Interferometer und Telluometerlängen wurden als variable Reflektorkonstante C interpretiert und im nebenstehenden Diagramm (Abb. 7) aufgetragen.

Es ist deutlich zu erkennen, daß die Reflektorkonstante bei etwa 45–50 Meter zu ihrem konstanten Normalwert konvergiert. Im Nahbereich zeigt sie bemerkenswerte Abweichungen bis zu ± 2 cm.

4.1. Überprüfung der Ergebnisse

Die ermittelten Reflektorkonstanten mußten zum Schutz vor allfälligen bei Labormessungen möglichen Systematiken noch unabhängig kontrolliert werden. Dies geschah durch Absolut- und Differenzstreckenmessungen im Netz der Meßpfeiler auf dem Dach der TU Wien. Die Mittelwerte der Meßergebnisse stimmten bei insgesamt 6 Distanzen zwischen 8 und 67 Metern auf ± 2 mm mit den Sollwerten überein.

4.2. Anwendung im Bauwesen

Im Zuge von Präzisionsvermessungen zur Fassadenabhängung bei einem Großbauvorhaben in Wien konnte das nahbereichsgereichte Telluometer mit Erfolg eingesetzt werden. Zur Einmessung der Punktraster auf den Fassaden waren vier Netze angelegt worden, deren Geometrie durch Winkelmessungen mit dem Wild T2000 festgelegt wurde, während das MA 100 den Maßstab lieferte. Eines der Teilnetze hatte die Idealform eines Diagonalvierecks (Abb. 8) und soll als Beispiel für die erreichte Genauigkeit herangezogen werden.

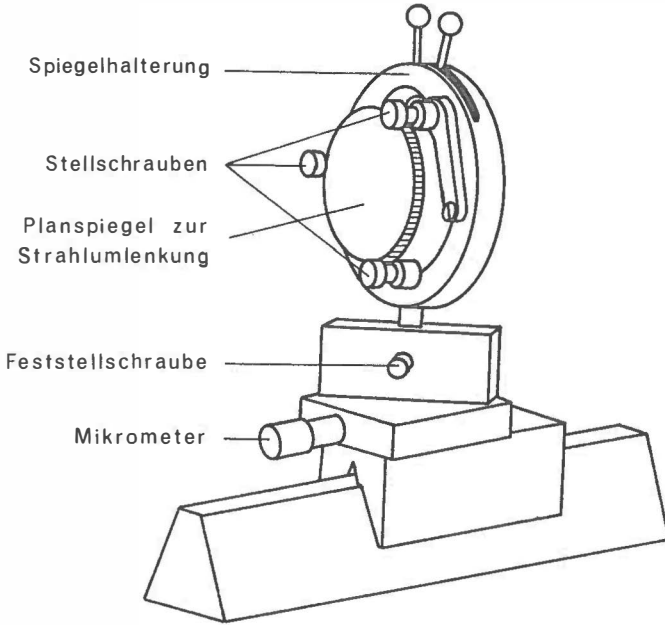


Abb. 5

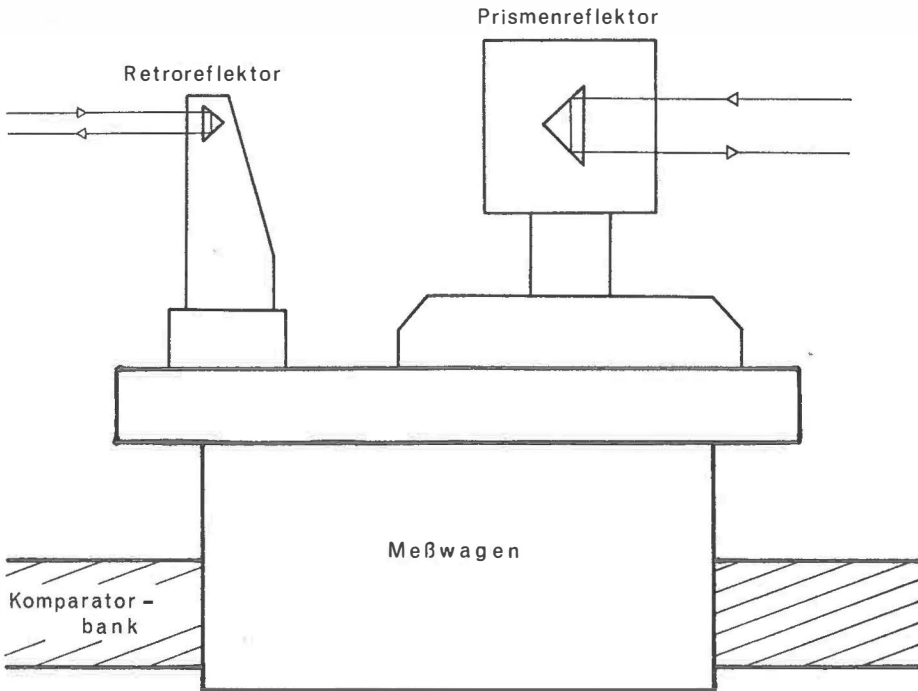


Abb. 6

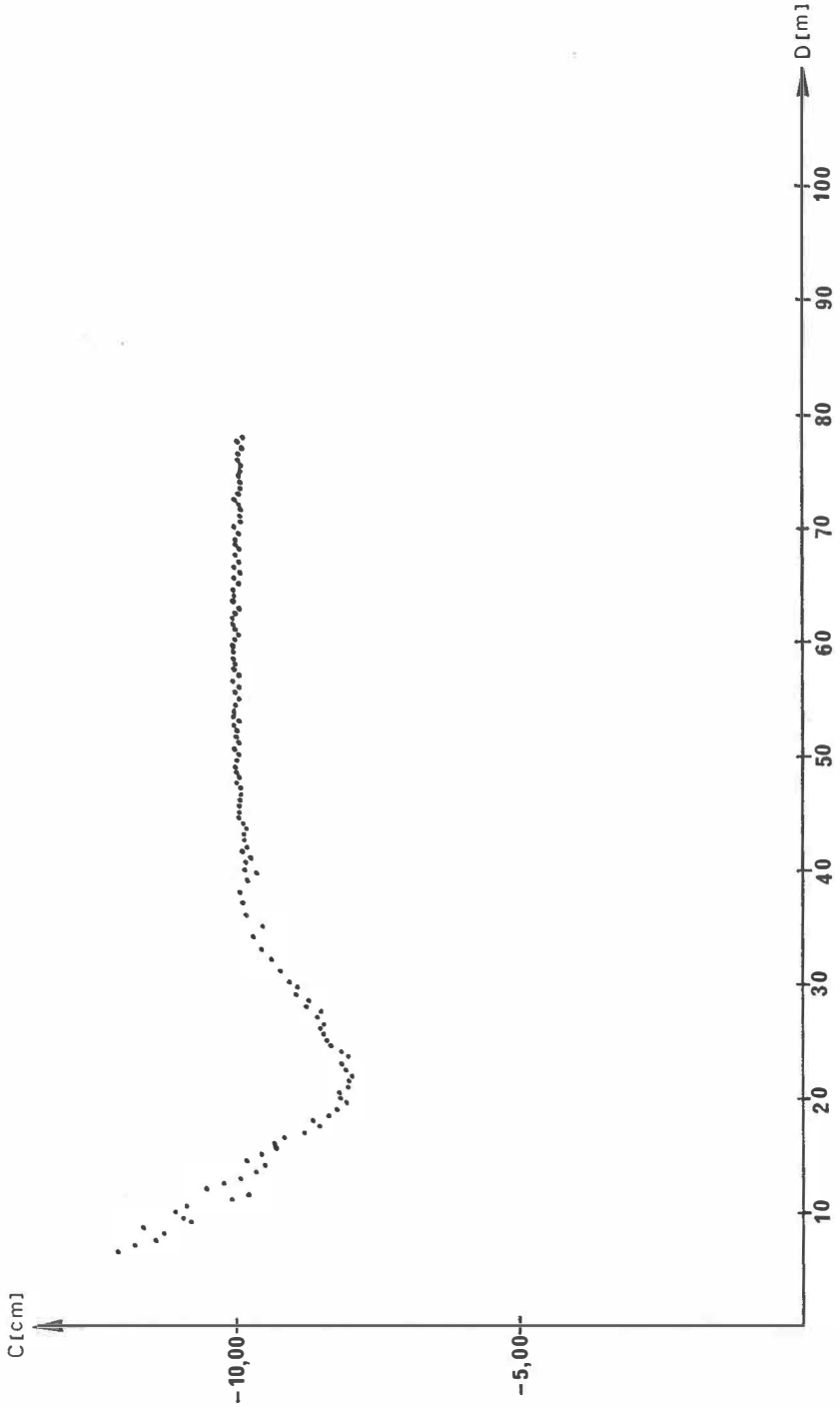


Abb. 7. Diagramm der Nahbereichskorrektur

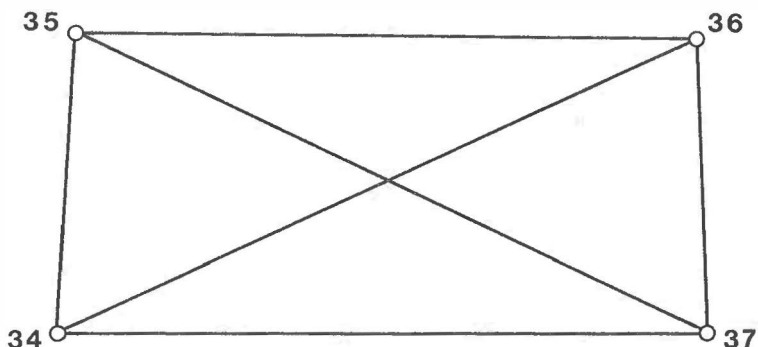


Abb. 8

Tabelle 1 zeigt neben den Mittelwerten der beidseitigen Distanzmessungen die nach angebrachter Nahbereichskorrektur aus einem bedingten Ausgleich folgenden Verbesserungen und mittleren Fehler.

Tabelle 1

Distanz	d (m)	v (mm)	d+v (m)
34-35	7,7222	-0,2	7,7220
34-36	31,0554	+0,9	31,0563
34-37	29,5542	-0,9	29,5533
35-36	29,9472	-0,8	29,9464
35-37	30,4294	+0,9	30,4303
36-37	7,8001	-0,2	7,7999

$m_d = \pm 1,8 \text{ mm}$

5. Schluß

Es konnte ein Verfahren gefunden werden, durch im Nahbereich ($< 100 \text{ m}$) wirksame Phaseninhomogenitäten stark verfälschte (bis zu 2 cm) Tellurometerstrecken erfolgreich zu korrigieren. Dazu ist nur die exakte Ausrichtung des Gerätes auf ein definiertes Reflexmaximum nötig, was mit Hilfe einer am Vertikalfeintrieb angebrachten Skala und Beobachtung des geräteeigenen Ampèremeters unschwer möglich ist.

Die im Labor mit dieser Methode bestimmten Eichwerte lassen bei Anwendung des gleichen Ausrichtungsvorganges im Feld eine präzise Korrektur der gemessenen kurzen Strecken zu. Praktische Messungen bei einem Wiener Großbau haben gezeigt, daß damit die Meßarbeit nur unwesentlich verzögert, die Genauigkeit aber auf $\pm 2 \text{ mm}$ gesteigert wird.

Literatur

Wutzel, O.: Bestimmung der Nullpunkskonstanten des Tellurometers MA 100; Diplomarbeit (unveröffentlicht), TU Wien, 1974

Zetsche, H.: Elektronische Entfernungsmessung, 1979

Kahmen, H.: Elektronische Meßverfahren in der Geodäsie, 1977