

# Elektronische Distanzmesser für kurze Strecken : Genauigkeitsfragen und Prüfverfahren

Autor(en): **Schwendener, H.R.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **69 (1971)**

Heft 3

PDF erstellt am: **21.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-224312>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Elektronische Distanzmesser für kurze Strecken

## Genauigkeitsfragen und Prüfverfahren

*H. R. Schwendener*

### 1. Einleitung

Seit im Juli 1968 anlässlich des Photogrammetrikongresses in Lausanne die ersten Infrarotdistanzmesser gezeigt wurden, ist der elektronische Distanzmesser für den Praktiker nicht mehr ein geheimnisumwittertes Instrument, dessen Einsatz und Handhabung nur Spezialisten vorbehalten bleibt. Ohne Zweifel können heute die modernen elektronischen Distanzmesser auch für die Aufgaben eines größeren Vermessungsbüros wirtschaftlich eingesetzt werden [1]. Inzwischen ist das Angebot an Distanzmeßgeräten für den 1000-m-Bereich gestiegen. Meist handelt es sich dabei um Instrumente, die als Trägerwelle Infrarot mit einer Wellenlänge von etwa  $0,9 \mu\text{m}$  benutzen, also den an das sichtbare Licht anschließenden Wellenlängenbereich des Infrarotspektrums.

Hauptgrund für die Verwendung von Infrarot als Trägerwelle ist die einfache Modulationsmöglichkeit der Gallium-Arsenid-Diode, die hier allgemein als Strahlungsquelle verwendet wird. Sie läßt sich – im Gegensatz etwa zu Glühlampen oder Gasentladungslampen – durch Variieren des Speisestroms im Hochfrequenzbereich direkt modulieren. Etwaige günstige Eigenschaften des Infrarot betreffend Absorption und Streuung in der Atmosphäre spielen dagegen kaum eine Rolle. Die Wellenlänge von  $0,9 \mu\text{m}$  ist nahe dem sichtbaren Licht. Ihre Extinktionseigenschaften im Nebel unterscheiden sich kaum von denen des sichtbaren Lichtes; lediglich bei Dunst ist die  $0,9\text{-}\mu\text{m}$ -Welle etwas günstiger. Es trifft zu, daß im Infrarotspektrum (Wellenlängen etwa  $0,7 \mu\text{m}$  bis etwa  $1 \text{ mm}$ ) Wellenlängenbereiche mit guten Durchdringungseigenschaften auch durch gewisse Nebelarten existieren [2, 3]. Sie werden aber in der Geodäsie noch nicht angewendet.

### 2. Distanzmessung

Den Besitzer eines elektronischen Distanzmessers interessieren nun die mit der Distanzmessung zusammenhängenden praktischen Fragen wie etwa:

- Methoden zur Überwachung der Genauigkeit des Instrumentes
- Methoden zur Erkennung beziehungsweise Eliminierung systematischer Fehler
- Gewichtsansatz zur Ausgleichung von Strecken-Winkel-Netzen

Allgemein gilt bei elektronischen Entfernungsmessern folgende Bestimmungsgleichung für die Distanz:

$$D = N \cdot \frac{\lambda_m}{2} + R + c$$

$\frac{1}{2} \lambda_m$  ist die halbe Modulationswellenlänge und ist identisch mit der im Instrument verwendeten Maßeinheit. Sie hängt ab von der Modulationsfrequenz  $f_m$  (Maßstabfrequenz) und der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Trägerwelle. Die Strecke  $D$  setzt sich zusammen aus  $N$  ganzen Maßeinheiten von  $\frac{1}{2} \lambda_m$  und dem Rest  $R$ . Dieser wird durch Phasenmessung der modulierten Welle ermittelt.  $c$  ist eine Additionskonstante. Die Gleichung lautet detailliert wie folgt:

$$D = N \cdot \frac{c_0}{2 n f_m} + \frac{\varphi}{2\pi} \cdot \frac{c_0}{2 n f_m} + c$$

Darin ist  $c_0$  die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum,  $n$  der Brechungsindex der verwendeten Trägerwelle in der jeweiligen Atmosphäre und  $\varphi$  die gemessene Phase (Phasenverschiebung) der über die Meßstrecke gesendeten Welle.

Maßgebend für die Genauigkeit, die man mit einem solchen Gerät erzielt, sind daher:

- Maßstabfrequenz
- Brechungsindex
- Phasenmessung
- Additionskonstante

### 3. Maßstabfrequenz

Die Maßstabfrequenz  $f_m$  wird durch Quarzoszillatoren erzeugt. Von Quarzuhren sind unter Feldbedingungen Genauigkeiten bis  $10^{-8}$  bekannt, allerdings nur, wenn die Quarze innerhalb enger Temperaturgrenzen gehalten werden. Auch für Genauigkeiten von  $10^{-6}$ , die man bei geodätischen Entfernungsmessern mit großer Reichweite anstrebt, ist eine Temperaturstabilisierung notwendig, was bekanntlich eine Aufheizzeit erfordert. Erst bei einer Genauigkeit von  $10^{-5}$  spielt die Quarztemperatur keine Rolle mehr, da selbst im Temperaturbereich von  $-25$  °C bis  $+50$  °C eine Stabilität der Maßstabfrequenzen von  $10^{-5}$ , entsprechend 1 cm/km, leicht garantiert werden kann. Für die hier zur Diskussion stehenden Geräte entfällt daher auch eine Aufheizzeit. Im Temperaturbereich von  $-5$  °C bis  $+30$  °C, in dem in gemäßigten Klimazonen sicher 99% aller Feldarbeiten durchgeführt werden, kann man sogar mit einer Stabilität der Maßstabfrequenzen von  $3 \cdot 10^{-6}$  rechnen.

Jede Abweichung von der Sollfrequenz beeinflusst systematisch die gemessenen Distanzen (Maßstabfehler). Es fällt nicht schwer, ihr bei der Auswertung von Netzverdichtungen Rechnung zu tragen. Da in Festpunktnetzen ohnehin örtlich Maßstabfehler bis  $10^{-5}$  auftreten können, führt man in die Ausgleichung von kombinierten Strecken-Winkel-Netzen immer eine Maßstabsunbekannte ein. Die Prüfung der Maßstabfrequen-

zen eines Infrarot-Distanzmessers durch den Benutzer ist also kaum lohnenswert, um so mehr, als der instrumentelle Aufwand dafür viel zu groß wäre.

#### 4. Brechungsindex

In elektronischen Entfernungsmessern ist es üblich, einen mittleren Brechungsindex der Atmosphäre in der Maßeinheit zu berücksichtigen. Die an den abgelesenen Distanzen anzubringenden Korrekturen werden damit klein oder können in vielen Fällen ganz vernachlässigt werden. Für den Distomat DI10 gilt beispielsweise folgende Korrekturformel

$$\Delta D_{\text{mm/km}} = 282 - \frac{0,387 p}{1 + 0,0037 t} \quad \begin{array}{l} p \text{ in mm Hg} \\ t \text{ in } ^\circ\text{C} \end{array}$$

Die Formel zeigt, daß keine besonderen Anstrengungen bei der Bestimmung der meteorologischen Daten notwendig sind, um eine Standardabweichung (mittleren Fehler) der atmosphärischen Korrektur von etwa  $\pm 3$  mm/km nicht zu überschreiten, denn ein Fehler von  $1^\circ$  bei der Temperaturmessung beziehungsweise von 3 mm Hg beim Luftdruck verursachen Distanzfehler von je nur etwa 1 mm/km. Ein einfaches Thermometer sowie ein Taschenhöhenmesser genügen deshalb hier sogar für extreme Ansprüche.

Es sind Geräte bekannt, bei denen die Maßstabfrequenzen in gewissen Grenzen vom Beobachter variiert werden können, um den auf Grund der ermittelten meteorologischen Daten berechneten Brechungsindex gleich in der angezeigten Distanz zu berücksichtigen. Man kann sich fragen, ob dieser instrumentelle Aufwand auch zweckmäßig ist, da man so den jeweiligen Brechungsindex im Feld vor der Messung bestimmen muß, um ihn einstellen zu können. Angesichts der übrigen Reduktionen – Neigung, Höhe über Meer, Projektion – erscheint es zudem kaum sinnvoll, einzelne Reduktionen ins Meßresultat einzuschließen, wenn damit ein Mehraufwand verbunden ist.

#### 5. Phasenmessung

Die Genauigkeit der Phasenmessung entspricht etwa der inneren Genauigkeit des Instrumentes. Als Standardabweichung erreicht man heute allgemein  $10^{-3}$  bis  $10^{-4}$  der Maßeinheit, also zum Beispiel bei einer Maßeinheit von 10 m  $\pm 1$  bis 10 mm. Die Wahl der Maßstabfrequenz ist daher eine der wichtigsten Entscheidungen beim Bau eines elektronischen Distanzmessers. Die heute angebotenen Infrarot-Distanzmesser benutzen Maßeinheiten zwischen 2 m und 20 m. Die bisher kürzeste Maßeinheit eines elektronischen Distanzmessers wurde von Froome im Mekometer verwendet, nämlich 30 cm. Im Wild-Distomat DI10 beträgt die Maßeinheit 10 m und der mittlere Fehler der Phasenmessung etwa  $\pm 5 \cdot 10^{-4}$ , entsprechend  $\pm 5$  mm. In diesem Betrag sind unvermeidbare periodische Restfehler sowie der Einfluß von Phasenfehlern der Sendediode bereits enthalten.

Der Fehlereinfluß der Phasenmessung ist hauptsächlich zufälliger Art. Einzig periodische Anteile können sich systematisch auswirken. Ein Verfahren zur Prüfung der Genauigkeit der Phasenmessung und zur Erkennung periodischer Fehler wird in Abschnitt 7. erläutert.

### 6. Additionskonstante

Ein Vergleich mit der optischen Distanzmessung ist hier sicher angebracht. Wir kennen dort die Additions- und die Multiplikationskonstante. Letztere läßt sich etwa vergleichen mit der Maßeinheit des elektronischen Distanzmessers, die durch die Maßstabfrequenz festgelegt ist. In 3. wurde festgestellt, daß sich deren Überprüfung erübrigt. In optischen Präzisionstachymetern ist die Multiplikationskonstante aber abhängig vom jeweiligen Zustand des Instrumentes (Temperatur und Justierung) sowie sogar vom Auge des Beobachters, während sich die Additionskonstante konstruktiv so klein machen läßt, daß sie für immer vernachlässigbar ist. Die periodisch durchzuführende Prüfung optischer Präzisionstachymeter auf Eichstrecken beschränkt sich deshalb auf die Kontrolle der Multiplikationskonstanten sowie gegebenenfalls deren Reduktion bei geneigten Visuren.

Umgekehrt verhält es sich mit der Additionskonstanten eines elektronischen Distanzmessers. Sie setzt sich einmal zusammen aus geometrischen Umwegen, Verzögerungen und Exzentrizitäten. Ein anderer Anteil physikalischer Art rührt davon her, daß die Referenzwelle und die ausgesendete Welle den Sender unter Umständen mit unterschiedlicher Phasenlage verlassen. Dieser Unterschied kann sich mit der Zeit geringfügig ändern. Besonders zur Berechnung von Polygonnetzen ist es vorteilhaft, die Additionskonstante möglichst genau zu kennen. Wünschenswert ist etwa, daß die Standardabweichung der Additionskonstanten nicht größer ist als 50% der Standardabweichung einer Distanzmessung selbst.

Als einfache und rasche Prüfung der Additionskonstanten wird empfohlen, in Abständen von einem bis zwei Monaten mindestens 4 Eichstrecken beliebiger Länge zwischen 20 m und 100 m zu messen. Die Bestimmung der Additionskonstanten mit einer Eichstrecke ist dabei aber keinesfalls genauer als die Distanzmessung selbst. Zentrierfehler zusammen mit Unsicherheiten in der Länge der Eichstrecke können leicht einige Millimeter erreichen. Dieses Verfahren genügt deshalb höchstens für eine Überprüfung, nicht aber für eine Neubestimmung. Dafür besser geeignet ist die Messung einer langen Distanz  $D$  sowie deren Teilstrecken  $d_1$  bis  $d_n$  (Fig. 1):

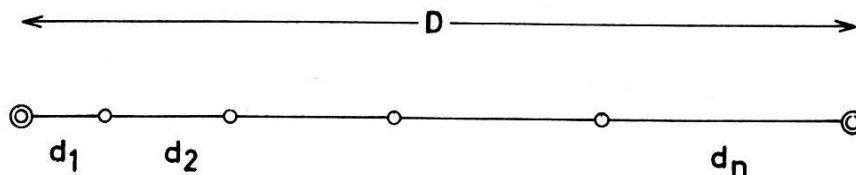


Fig. 1

Strecke	Näherung	Messung	$D_0 - D$	$D + c$	Ausgleich	$\bar{D} - D'$
	$D_0$ [m]	$D$ [m]	$= f$ [mm]	$= D'$ [m]	$D$ [m]	$= v$ [mm]
01	19.5	19.617	- 117	19.548	19.541	- 7
02	58.5	58.480	+ 20	58.411	58.419	+ 8
03	126.5	126.492	+ 8	126.423	126.430	+ 7
04	254.0	254.043	- 43	253.974	253.973	- 1
05	510.0	510.058	- 58	509.989	509.987	- 2
06	1021.5	1021.601	- 101	1021.532	1021.530	- 2
12	39.0	38.950	+ 50	38.881	38.878	- 3
13	107.0	106.963	+ 37	106.894	106.889	- 5
14	234.5	234.500	0	234.431	234.432	+ 1
15	490.5	490.515	- 15	490.446	490.446	0
16	1002.0	1002.059	- 59	1001.990	1001.989	- 1
23	68.0	68.079	- 79	68.010	68.011	+ 1
24	195.5	195.625	- 125	195.556	195.554	- 2
25	451.5	451.636	- 136	451.567	451.568	+ 1
26	963.0	963.174	- 174	963.105	963.111	+ 6
34	127.5	127.610	- 110	127.541	127.543	+ 2
35	383.5	383.619	- 119	383.550	383.557	+ 7
36	895.0	895.174	- 174	895.105	895.100	- 5
45	256.0	256.084	- 84	256.015	256.014	- 1
46	767.5	767.625	- 125	767.556	767.557	+ 1
56	511.5	511.610	- 110	511.541	511.543	+ 2
$\Sigma$	2.0	3.514	- 1514	2.065	2.072	+ 7

A	- 1514	0.20000	0.05714	0.11429	0.17143	0.22857	0.28571	0.34286
B	+ 130	0.05714	0.30204	0.17551	0.19184	0.20816	0.22449	0.24082
C	- 584	0.11429	0.17551	0.35102	0.24082	0.27347	0.30612	0.33878
D	- 369	0.17143	0.19184	0.24082	0.43265	0.33878	0.38776	0.43673
E	+ 69	0.22857	0.20816	0.27347	0.33878	0.54694	0.46939	0.53469
F	+ 302	0.28571	0.22449	0.30612	0.38776	0.46939	0.69388	0.63265
G	+ 743	0.34286	0.24082	0.33878	0.43673	0.53469	0.63265	0.87347

	$c$ [mm]	$X_{01}$ [mm]	$X_{02}$ [mm]	$X_{03}$ [mm]	$X_{04}$ [mm]	$X_{05}$ [mm]	$X_{06}$ [mm]
	- 68.574	+ 40.557	- 81.046	- 69.923	- 26.941	- 13.240	+ 30.158

A =	$+\Sigma f$						
B =	$-f_{01} + f_{12} + f_{13} + f_{14} + f_{15} + f_{16}$						
C =	$-f_{02} - f_{12} + f_{23} + f_{24} + f_{25} + f_{26}$				DI 10 Nr. 1371	18. 12. 70	
D =	$-f_{03} - f_{13} - f_{23} + f_{34} + f_{35} + f_{36}$						
E =	$-f_{04} - f_{14} - f_{24} - f_{34} + f_{45} + f_{46}$				$m_e = \sqrt{\frac{[vv]}{14}} = \pm 4.9 \text{ mm}$		
F =	$-f_{05} - f_{15} - f_{25} - f_{35} - f_{45} + f_{56}$						
G =	$-f_{06} - f_{16} - f_{26} - f_{36} - f_{46} - f_{56}$				$m_c = \sqrt{0.2} \cdot m_e = \pm 2.2 \text{ mm}$		

$[vv] = \Sigma f^2 - A \cdot c - B \cdot X_{01} - C \cdot X_{02} - D \cdot X_{03} - E \cdot X_{04} - F \cdot X_{05} - G \cdot X_{06} = 322$   
 $[vv] = 333$

Berechnung der Unbekannten z.B.  $X_{01}$  :  
 $X_{01} = A \cdot 0.05714 + B \cdot 0.30204 + C \cdot 0.17551 + \dots + G \cdot 0.24082$

Für die Additionskonstante gilt dann:

$$c = \frac{D - \sum d_i}{n - 1}$$

Ist  $m_e$  die Standardabweichung einer beliebigen gemessenen Distanz  $d_i$  beziehungsweise der Distanz  $D$ , so ergibt sich für die Standardabweichung  $m_c$  der Additionskonstanten

$$m_c = \sqrt{\frac{n + 1}{(n - 1)^2}} \cdot m_e$$

Verlangt man, daß  $m_c$  nicht größer als 50 % von  $m_e$  ist, so sind mindestens 6 bis 7 Teilstrecken nötig. Bei diesem Verfahren sind Eichstrecken bekannter Längen nicht notwendig. Allerdings ist die Additionskonstante damit noch nicht überbestimmt.

### 7. Prüfverfahren in allen Kombinationen mit sechs Teilstrecken

Der Nachteil der ungenügenden statistischen Sicherheit der Additionskonstanten beim vorher geschilderten Verfahren kann behoben werden, indem man alle Kombinationen von Distanzen mißt, nicht nur die zu den beiden Nachbarpunkten. Bei Wahl von sechs Teilstrecken sind dann total 21 Distanzen zu messen. Mit sechs Strecken als Unbekannte und der Additionskonstanten als siebte Unbekannte ergibt sich demnach ein System mit 14 überschüssigen Messungen. Man erhält daraus ein ausgezeichnetes Bild über den Zustand des Gerätes.

Bei der Festlegung der einzelnen Teilstrecken ist es vorteilhaft, folgendes zu beachten:

- a) Die 21 zu messenden Strecken sollen über den ganzen Meßbereich des Gerätes verteilt sein.
- b) Die durch Phasenmessung zu ermittelnden Restbeträge in den 21 Distanzen sollen über die Maßeinheit des Instrumentes gleichmäßig verteilt sein.

Sind diese Forderungen erfüllt, so kann man einerseits die Genauigkeit des Instrumentes im ganzen Meßbereich beurteilen (Punkt a), andererseits lassen sich durch eine Analyse der aus der Ausgleichung erhaltenen Verbesserungen etwaige periodische Fehler erkennen und bestimmen (Punkt b). Mit den Distanzen gemäß Figur 2, die auch dem Rechenbeispiel zugrunde liegen, werden diese Forderungen nahezu optimal erfüllt.

Die Prüfung nach diesem Verfahren soll etwa dreimal jährlich durchgeführt werden. Sind die Meßpunkte einmal markiert, so beträgt der Feldaufwand nicht mehr als zwei Stunden. Man wird vielleicht noch einwen-

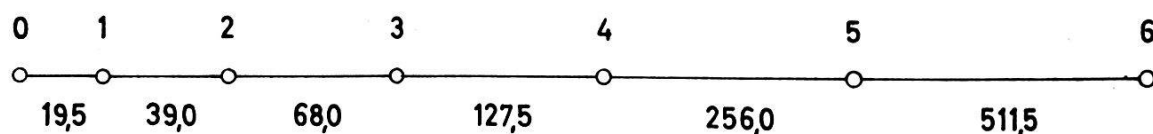


Fig. 2

den, der Rechenaufwand für eine Ausgleichung mit 21 Fehlergleichungen und 7 Normalgleichungen sei zu groß. Da man jedoch mit Infrarot-Distanzmessern in einem Distanzbereich arbeitet, in dem die distanzproportionalen Fehleranteile, verglichen mit den konstanten Anteilen, vernachlässigbar klein sind, haben alle Distanzen das gleiche Gewicht. Man kann daher für jede beliebige Meßanlage mit *gleicher* Anzahl von Teilstrecken die *gleiche*  $Q$ -Matrix zur Auflösung verwenden.

Die Auswertung erfolgt im nebenstehenden Formular in der Reihenfolge:

- Wahl der Näherungswerte 01 bis 06, daraus Ableiten der übrigen Näherungswerte
- Absolutglieder  $f$  der Fehlergleichungen
- Absolutglieder  $A$  bis  $G$  der Normalgleichungen nach den angegebenen Formeln
- Berechnung der Unbekannten durch Summieren der Produkte der Absolutglieder  $A$  bis  $G$  mit den in gleicher Zeile stehenden Koeffizienten der entsprechenden Kolonnen der  $Q$ -Matrix
- Mit Additionskonstante korrigierte Distanzen  $D'$
- Ausgegliche Distanzen  $\bar{D}$  der Strecken 01 bis 06 durch Anbringen der Unbekannten  $X_{oi}$  an die Näherungswerte  $D_{oi}$ , daraus Ableiten der übrigen ausgeglichenen Distanzen
- Verbesserungen  $v$
- Berechnung der  $[vv]$  einmal mit den Unbekannten und dann mit den einzelnen  $v$  zur Kontrolle
- Standardabweichung einer Distanz  $m_e$  und der Additionskonstanten  $m_c$

Der Zeitaufwand für die Berechnung mit einer konventionellen Rechenmaschine beträgt etwa 50 Minuten, mit einem elektronischen Tischrechner von der Kapazität der Olivetti Programma 101 etwa 10 Minuten.

In Figur 3 sind die im Rechenbeispiel erhaltenen Verbesserungen mit der Maßeinheit des DI10 von 10 m als Basis dargestellt, das heißt in Funktion der Meter und Meterbruchteile der einzelnen gemessenen Distanzen. Dank vorher geplanter Festlegung der Teilstreckenlänge sind die Punkte, mit zwei Ausnahmen bei 1,0 m und 2,5 m, regelmäßig in etwa 50-cm-Abständen über die Maßeinheit verteilt. Es ist daraus ersichtlich, daß hier keine periodischen Fehler auftraten.

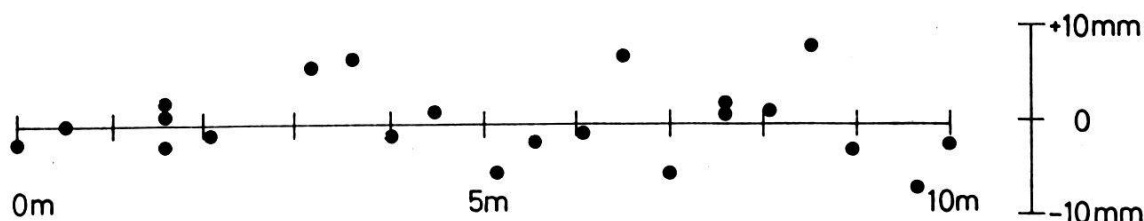


Fig. 3



In Figur 4a sind die Verbesserungen für ein Gerät dargestellt, in dem absichtlich elektronische Einstellungen dejustiert wurden. Die Verteilung der Punkte zeigt jetzt klar periodische Fehler. In zwei Schritten wurde darauf graphisch die in Figur 4a ebenfalls dargestellte Kurve konstruiert und ihr entsprechende Korrekturen an die Messungen angebracht. Nach der Ausgleichung der so korrigierten Messungen verblieben noch die in Figur 4b dargestellten Verbesserungen.

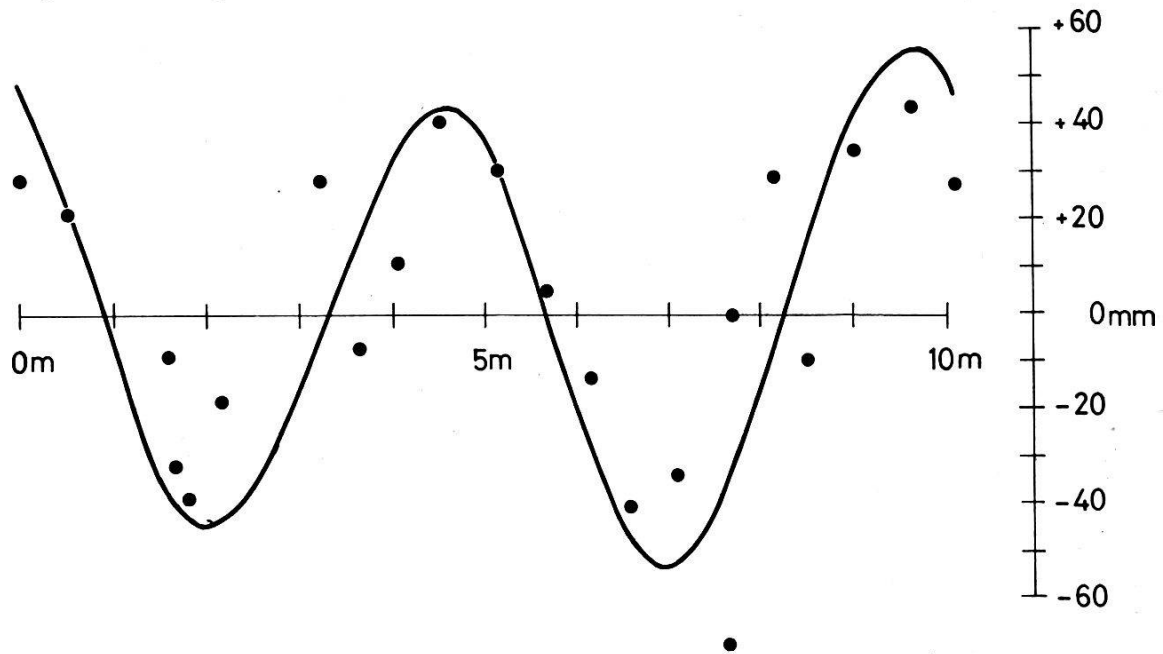


Fig. 4a

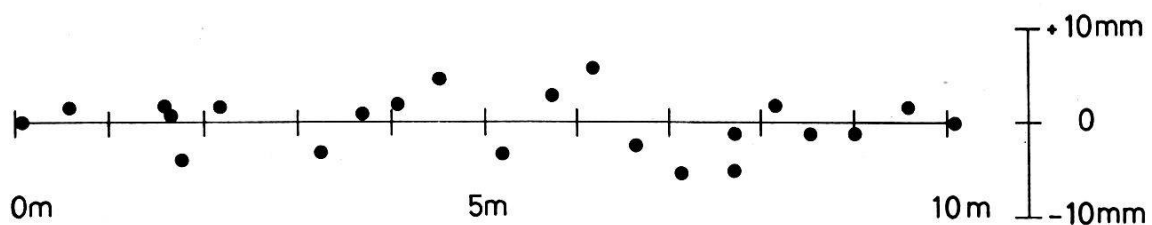


Fig. 4b

Die Vorteile dieses Prüfverfahrens sind:

- a) Die Additionskonstante wird ohne Eichstrecken bekannter Länge streng bestimmt. Ihr reziproker Gewichtskoeffizient  $Q_{cc}$  beträgt 0,2 (vgl. Auswertformular), das heißt ihre Standardabweichung  $m_c$  etwa 45% der einen Distanz. Die statistische Sicherheit für die Additionskonstante und deren mittlerer Fehler ist groß, da das System 14 überschüssige Messungen enthält.
- b) Eine einfache graphische Darstellung der Verbesserungen läßt etwaige periodische Fehler erkennen und bestimmen.
- c) Die Standardabweichung  $m_e$  ist aus Messungen hergeleitet, die den gesamten Meßbereich des Gerätes umfassen. Alle Messungen werden in so kurzer Zeit durchgeführt, daß der Brechungsindex der Luft als konstant

betrachtet werden kann. Die Ergebnisse sind daher frei von atmosphärischen Unsicherheiten. Dies gilt im allgemeinen auch für auf einem Stationspunkt gemessene Richtungen. Der daraus abgeleitete mittlere Distanzfehler ist demnach mit dem mittleren Richtungsfehler einer Stationsausgleichung zu vergleichen. Das Verfahren eignet sich daher auch zur Festsetzung der Gewichte für die Ausgleichung von Strecken-Winkel-Netzen.

Aus unseren Erfahrungen ergibt sich mit Standardabweichungen a priori von  $\pm 5''$  für Richtungen und  $\pm 5$  mm für Distanzen ein realistischer Gewichtsansatz. Dieser Ansatz gilt bei Verwendung eines Sekundentheodoliten und eines Infrarot-Distanzmessers, zum Beispiel des Distomat DI 10, für Strecken-Winkel-Netze im 1000-m-Bereich. Mit den Dimensionen Millimeter und Zentesimalsekunden in den Fehlergleichungen können dann alle Beobachtungen – Richtungen und Distanzen – gleichgewichtig eingeführt werden. Dabei ist nur zu beachten, daß ohne Benützung der Zwangszentrierung die *Richtungsgewichte* bei kurzen Entfernungen stark reduziert werden müssen.

- [1] *Aschauer, H.*: Einsatz der elektronischen Entfernungsmessung im Fortführungsvermessungsdienst. Mitteilungsblatt des DVW Landesverein Bayern e.V., Heft 1/1970.
- [2] *Moss, T.S.*: Infrarot-Technologie. Umschau Frankfurt, Heft 20/1970.
- [3] *Arnulf, Bricard, Curé, Vêret.*: Transmission by Haze and Fog in the Spectral Region 0.25 to 10 Microns. Journal of the Optical Society of America, June 1957, Vol. 47, No. 6.

DK 625.74 (23)

## Neuere Baumethoden im Bergwegebau

V. Gmür

### Allgemeines

Die Berg- und Alpwege bilden den Lebensnerv der Bergbauern. Aus Kostengründen können heute leider nur einspurige Sträßchen mit Kofferbreiten von 3 bis maximal 4,2 m gebaut werden, obwohl vielfach ein breiterer Ausbau im Hinblick auf den öffentlichen Verkehr wünschbar wäre. Wir müssen uns aber vorerst mit Ausweichstellen auf Sichtweiten begnügen.

Besonders wenn steile Hangpartien durch den Bau neuer Wege angeschnitten werden müssen, steigen die Kosten sprunghaft in die Höhe. Die Einschnitte, wenn sie erst noch in wasserzügigem Boden ausgeführt werden müssen, sind nicht ungefährlich. Sie stören das Gleichgewicht (Rutschgefahr) und bedingen erst noch teure Entwässerungsarbeiten sowie Stütz- und Futtermauern.