

# Exzentrische Distanzmessung

Autor(en): **Klingenberg, Franz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mensuration, photogrammétrie, génie rural**

Band (Jahr): **70-M (1972)**

Heft 9

PDF erstellt am: **28.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-225590>

## **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.

## Exzentrische Distanzmessung

Franz Klingenberg, dipl. Ing. ETH

### 1. Motivation und Aufgabenstellung

Die Leistungsfähigkeit der heute angebotenen elektronischen Distanzmesser mit Reichweiten bis zu 3 km legt es nahe, sie mit Sekundentheodoliten – ebenfalls mit einer Genauigkeit von etwa  $10^{-5}$  bei einfacher Ablesung arbeitend – zu kombinieren. Mit einer solchen Instrumentenkombination lassen sich Punktgruppen aufnehmen, die dank der erreichbaren Spannweite direkt in die Landestriangulation IV. Ordnung eingehängt werden können. Das heißt aber, daß die bis anhin terrestrisch durch Polygonzüge beigebrachte Fixpunktverdichtung in geeigneten Fällen von wenig Instrumentenstandorten aus durch Polaraufnahme geschaffen werden kann. Bei sehr guten Sichtverhältnissen kann es sogar rationell sein, auf diese Weise Detailpunkte zu erfassen.

Aus der Sicht des Instrumentenbaues ist die Kombination von Distanz- und Richtungsmesser meist eine Form der Zwangszentrierung, die erreicht wird durch konzentrische Anordnung von Fernrohr- und Sendeoptik, durch Aufsetzen der Sendeoptik auf einen Serientheodoliten oder durch genormte Verbindung von Stativ einerseits und Theodolit beziehungsweise Wippe der Sendeoptik andererseits.

In jedem dieser Fälle sind Distanz- und Kreisablesungen zeitlich gestaffelt vorzunehmen, da an einem Stativ nur ein Beobachter zu einem Zeitpunkt messen kann. Somit ist bei der Wahl der Aufnahmetechnik darauf zu achten, den Einfluß von zeitlichen Änderungen minimal zu halten, zum Beispiel durch Aufbau eines Statives im Zielpunkt. Die geringsten Ansprüche in dieser Beziehung stellen Instrumente mit konzentrischer Anordnung beider Optiktteile. Es handelt sich dabei um Spezialinstrumente für den gezielten Einsatz in einem relativ eng umschriebenen Bereich und zu einem Preis, der über demjenigen der baulich getrennten Komponenten liegt. Ein Faktor, der noch mehr zählt, wenn bereits ein Sekundentheodolit vorhanden ist.

Sollen Punktgruppen mit zahlreichen Elementen doppelt unabhängig aufgenommen werden und stehen getrennt je ein Theodolit und ein Distanzmesser zur Verfügung, kann die Aufgabe gestellt werden, mit beiden Instrumenten und zwei Beobachtern gleichzeitig zu messen. Eine solche Arbeitsweise ist, gute Sichtverhältnisse vorausgesetzt, durchaus vorteilhaft. Sie ergab zum Beispiel bei Verifikationsarbeiten folgende Resultate: mittlerer Punktfehler =  $\pm 2,5$  cm in einem Distanzbereich von 600 m. Die Instru-

mente wurden dabei über Zwangszentrierung vertauscht. Pro Punkt waren 4 Minuten aufzuwenden für die Reflektorinstallation und die Messungen.

### 2. Meßdisposition und Resultatauswertung

Auf zwei Stativen sind Theodolit und Distanzmesser mit Wippe (zum Beispiel Wild DI 10) aufgebaut, wobei es vorteilhaft, aber nicht notwendig ist, einen der beiden Instrumentenstandorte lagemäßig zu kennen (Abb. 1). Zur zweiten, weitgehend unabhängigen Aufnahme werden die Instrumente vertauscht; Zwangszentrierung ist dabei komfortabel.

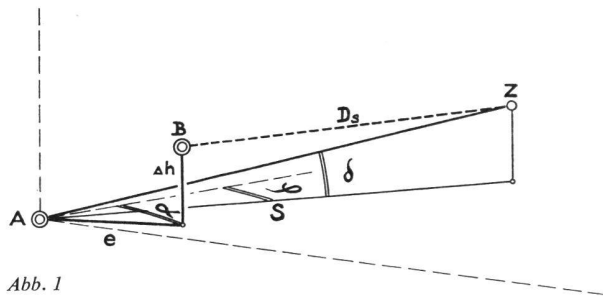


Abb. 1

A Sekundentheodolit  
B Elektronischer Distanzmesser auf Wippe  
Z Reflektor im Zielpunkt

#### Konstante Parameter einer Instrumentenkonstellation

$y_A, x_A$  Koordinaten des Zentrums  
 $e$  Exzentrizität  
 $\Delta h$  Höhendifferenz Distanzmesser–Theodolit  
 $\alpha$  Azimut der Exzentrizität (der Richtungsanschluß sei vorausgesetzt)

#### Variable Parameter oder Meßwerte der Zielpunkte

$D_s$  Schiefe Distanz  
 $\delta$  Höhenwinkel in A auf Z  
 $\varphi$  Azimut in A auf Z (auch hier sei der Richtungsanschluß vorausgesetzt)  
 $\Delta Or.$  Bei lange dauernden Messungen auf einer Station und bei Ausschöpfung der instrumentell gegebenen Genauigkeit ist die Orientierungsänderung aus Zwischenzielungen auf Kontrollpunkte und Zeitinterpolation zu ermitteln und rechnerisch zu berücksichtigen.

$\Delta Or. = (\text{alte Richtungsablesung} - \text{neue Richtungsablesung}) / (\text{Anzahl Messungen zwischen beiden Richtungsablesungen bei zeitlich gleichmäßig verteilten Messungen})$

Zur Berechnung der Zielpunktkoordinaten ist die gemessene Distanz  $D_s$  zu reduzieren auf die zentrische Horizontaldistanz  $S$  zwischen Theodolit und Zielpunkt nach der Formel

$$S = \cos^2 \delta \cdot \left\{ \sqrt{(e \cdot \cos(\alpha - \varphi) + \Delta h \operatorname{tg} \delta)^2 + \frac{D_s^2 - e^2 - \Delta h^2}{\cos^2 \delta}} + (e \cdot \cos(\alpha - \varphi) + \Delta h \operatorname{tg} \delta) \right\} \quad (5)$$

In der anschließenden Umrechnung von Polar- in Orthogonalkoordinaten sind die Einflüsse von Projektionsverzerrung und Zielpunkthöhe nach bekannten Formeln zu berücksichtigen.

Herleitung von S:

$$\Delta z = S \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (1)$$

(Höhendifferenz zwischen Zielpunkt Z und Theodolit A)

$$D^2 = D_s^2 - (\Delta h - \Delta z)^2 \quad (2)$$

(Horizontaldistanz zwischen Distanzmesser B und Zielpunkt Z)

Nach dem Cosinussatz und (1) und (2) ist

$$e^2 + S^2 - 2eS \cdot \cos(\alpha - \varphi) = D^2 = D_s^2 - (\Delta h^2 - 2\Delta h \cdot S \operatorname{tg} \delta + S^2 \operatorname{tg}^2 \delta) \quad (3)$$

EXZENTRISCHE DISTANZMESSUNG -- TOTALES DIFFERENTIAL  
 EINHEITEN VON DE,DH,DDS,D(S) = 1 CM  
 EINHEITEN VON DAL,DDL,DPH = 10 CC

EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	1000.0001	<u>0.0000</u>	<u>0.0000</u>	999.947
$-0.012*DE+ -0.012*DH+ -0.015*DAL+ 1.000*DDS+ 0.003*DDL+ 0.015*DPH =D(S) (CM)$						
EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	1000.0001	0.0000	<u>33.3332</u>	1004.960
$0.500*DE+ -0.012*DH+ -0.014*DAL+ 1.000*DDS+ 0.002*DDL+ 0.014*DPH =D(S) (CM)$						
EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	1000.0001	0.0000	<u>66.6666</u>	1008.645
$0.866*DE+ -0.012*DH+ -0.008*DAL+ 0.988*DDS+ 0.003*DDL+ 0.008*DPH =D(S) (CM)$						
EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	1000.0001	0.0000	<u>100.0000</u>	1009.997
$1.000*DE+ 0.000*DH+ 0.000*DAL+ 0.988*DDS+ 0.002*DDL+ 0.000*DPH =D(S) (CM)$						
EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	1000.0001	<u>20.0000</u>	<u>0.0000</u>	951.594
$0.000*DE+ 0.292*DH+ -0.014*DAL+ 0.939*DDS+ -0.482*DDL+ 0.014*DPH =D(S) (CM)$						
EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	1000.0001	20.0000	<u>33.3332</u>	956.130
$0.451*DE+ 0.292*DH+ -0.012*DAL+ 0.927*DDS+ -0.485*DDL+ 0.012*DPH =D(S) (CM)$						
EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	1000.0001	20.0000	<u>66.6666</u>	959.465
$0.793*DE+ 0.292*DH+ -0.007*DAL+ 0.939*DDS+ -0.489*DDL+ 0.007*DPH =D(S) (CM)$						
EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	1000.0001	20.0000	<u>100.0000</u>	960.688
$0.915*DE+ 0.292*DH+ 0.000*DAL+ 0.927*DDS+ -0.490*DDL+ 0.000*DPH =D(S) (CM)$						

Tabelle 1

Um die Aussage der Tabelle zu verdeutlichen, gibt zum Beispiel das totale Differential in der letzten Zeile an, daß ein Fehler von + 1 cm an der Exzentrizität von 10 m die reduzierte Distanz S um 0,915 cm verlängert, daß eine Änderung von  $\alpha = 100^\circ$  um +  $10^\circ$  sich in S überhaupt nicht bemerkbar macht oder daß eine Vergrößerung des Höhenwinkels  $\delta = 20^\circ$  um  $10^\circ$  S um 0,490 cm verkürzt. Stellt man sich die gesamte Meßsituation vor, findet man diese in Zahlen ausgedrückten Änderungstendenzen bestätigt.

EXZENTRISCHE DISTANZMESSUNG -- TOTALES DIFFERENTIAL  
 EINHEITEN VON DE, DH, DDS, D(S) = 1 CM  
 EINHEITEN VON DAL, DDL, DPH = 10 CC

EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	<u>15.0000</u>	<u>0.0000</u>	50.0000	20.147
$0.324*DE+ -0.152*DH+ -0.017*DAL+ 1.147*DDS+ 0.004*DDL+ 0.017*DPH =D(S) (CM)$						
EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	15.0000	<u>20.0000</u>	50.0000	19.562
$0.275*DE+ 0.313*DH+ -0.015*DAL+ 1.078*DDS+ -0.010*DDL+ 0.015*DPH =D(S) (CM)$						
EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	<u>200.0000</u>	<u>0.0000</u>	50.0000	206.935
$0.683*DE+ -0.009*DH+ -0.011*DAL+ 0.997*DDS+ 0.003*DDL+ 0.011*DPH =D(S) (CM)$						
EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	200.0000	<u>20.0000</u>	50.0000	197.075
$0.616*DE+ 0.296*DH+ -0.010*DAL+ 0.949*DDS+ -0.101*DDL+ 0.010*DPH =D(S) (CM)$						
EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	<u>500.0000</u>	<u>0.0000</u>	50.0000	507.016
$0.695*DE+ 0.000*DH+ -0.011*DAL+ 0.994*DDS+ 0.003*DDL+ 0.011*DPH =D(S) (CM)$						
EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	500.0000	<u>20.0000</u>	50.0000	482.464
$0.628*DE+ 0.292*DH+ -0.009*DAL+ 0.952*DDS+ -0.247*DDL+ 0.009*DPH =D(S) (CM)$						
EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	<u>2000.0002</u>	<u>0.0000</u>	50.0000	2007.056
$0.708*DE+ 0.000*DH+ -0.012*DAL+ 1.000*DDS+ 0.002*DDL+ 0.012*DPH =D(S) (CM)$						
EXZ	HOEH.DIFF	ALFA	DSCHIEF	DELTA	PHI	RED.DIST.S
10.0000	2.0000	100.0000	2000.0002	<u>20.0000</u>	50.0000	1909.084
$0.659*DE+ 0.292*DH+ -0.009*DAL+ 0.976*DDS+ -0.974*DDL+ 0.009*DPH =D(S) (CM)$						

Tabelle 2

zeigt die Fehlereinflüsse bei verschiedenen Distanzen  $D_s$  und Höhenwinkeln  $\delta$  bei derselben Instrumentenkonstellation wie in Tabelle 1.

Die quadratische Gleichung für  $S$  lautet daraus

$$S^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \delta) + S (-2 \{e \cdot \cos(\alpha - \varphi) + \Delta h \operatorname{tg} \delta\}) + e^2 + \Delta h^2 - D_s^2 = 0 \quad (4)$$

und ihre Auflösung mit Berücksichtigung der positiven Wurzel ergibt obenstehende Formel (5) für  $S$ .

Mit Hilfe eines Tischcomputers (Hewlett Packard 9100 A) ist die Berechnung der Zielpunktkoordinaten so schnell ausgeführt, als die Eingabe der drei Meßwerte  $D_s$ ,  $\delta$  und  $\varphi$ , eventuell noch von  $\Delta \text{Or.}$ , von Hand erfolgt.

### 3. Auswirkung von Meßfehlern

In üblicher Weise könnten die mittleren Fehler der Zielpunktkoordinaten

$$y_Z = y_A + S \cdot \sin \varphi \quad x_Z = x_A + S \cdot \cos \varphi \quad (6)$$

auf Grund der mittleren Fehler an  $e$ ,  $\Delta h$ ,  $\alpha$  und  $D_s$ ,  $\delta$ ,  $\varphi$  allgemein dargestellt werden. Die partiellen Differentialquotienten sind jedoch nicht einfach zu interpretieren, weshalb hier das totale Differential der reduzierten Strecke  $S$  allein bei verschiedenen Zielrichtungen  $\varphi$  und  $\delta$  einer Instrumentenkonstellation und bei einer gemessenen Distanz  $D_s$  von 1000 m Einblick in das Spiel der Parameter geben mag. Das totale Differential lautet

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial e}\right) \cdot de + \left(\frac{\partial S}{\partial \Delta h}\right) d\Delta h + \left(\frac{\partial S}{\partial \alpha}\right) d\alpha + \left(\frac{\partial S}{\partial D_s}\right) dD_s + \left(\frac{\partial S}{\partial \delta}\right) d\delta + \left(\frac{\partial S}{\partial \varphi}\right) d\varphi \quad (7)$$

Die aus numerischer partieller Differentiation resultierenden Koeffizienten sind in Tabelle 1 ersichtlich.

Instrumentenkonstellation:  $e = 10 \text{ m}$   
 $\Delta h = 2 \text{ m}$   
 $\alpha = 100^\circ$

Aus einer größeren Anzahl Konfigurationen von Distanzen, Höhen- und Richtungswinkeln zeigt sich, daß die reduzierte Distanz  $S$  auf Parameterfehler wie folgt anspricht:

(Instrumentenkonstellation:  $e = 10 \text{ m}$ ,  $\Delta h = 2 \text{ m}$ ,  $\alpha = 100^\circ$ )

Parameter	Quotient des totalen Differentials	Bemerkungen
$e$	0-1 (d. h. bei einem Exzentrizitätsfehler von 1 cm: 0-1 cm)	Je nach Phasenlage von $\varphi$ zu $\alpha$
$\Delta h$	0-0,3	Oberer Wert bei $\delta = 20^\circ$
$\alpha$	0-0,02 (d. h. bei einem Azimutfehler von $10^\circ$ : 0-0,02 cm)	Oberer Wert bei sehr kurzen Distanzen (15 m)
$D_s$	1-1,4	Oberer Wert bei sehr kurzen Distanzen (nahe $e$ )
$\delta$	0-0,5	Oberer Wert bei $\delta = 20^\circ$ und $D_s = 1000 \text{ m}$
$\varphi$	0-0,02	Auswirkung des Parameterfehlers wie bei $\alpha$ (Absolutwert)

## Erfahrungen mit Orthophotos und Orthophotokarten

DK 528.721.28

J. Jenatsch, Chur

Im vergangenen Jahr hat sich der Verfasser dieses Artikels eingehend mit der Anwendungsmöglichkeit von Orthophotos befaßt. Dabei fällt als erstes einmal auf, daß in der Schweiz Orthophotokarten und Orthophotopläne, das heißt Orthophotos in kleineren und größeren Maßstäben praktisch noch nicht verwendet werden. Anders ist es im Ausland. Orthophotos werden dort als ein wichtiger Nebenzweig der Vermessungskunde, vor allem der Kartendarstellung betrachtet. So ist man in der Bundesrepublik Deutschland dazu übergegangen, Grundkarten für ganze Bundesländer in Orthophotos zu erstellen. Das Bundesland Nordrhein-Westfalen zum Beispiel will in einigen wenigen Jahren über sein ganzes Gebiet eine Grundkarte im Maßstab 1 : 5000 erstellen und der Öffentlichkeit zur Verfügung halten. Andere Länder in Europa erstellen ähnliche Kartenwerke größeren Umfanges oder haben diese bereits erstellt. Vor allem aber in außereuropäischen Entwicklungsländern hat sich die Auffassung durchgesetzt, daß es nur möglich ist, ein vollständiges Kartenwerk zu bekommen, wenn man dieses Kartenwerk als Orthophotokarte erstellt. Die Durchführung von Vermessungen und die Erstellung von Kartenwerken ist eine Spezialarbeit. Eine Spezialarbeit benötigt hochspezialisierte Fachleute und diese sind auch bei uns in der Schweiz ein Mangelberuf. Weit schlimmer steht es damit im Ausland. So ist es verständlich, daß man ein Karten-

werk von Orthophotos erstellen will, denn die Erstellung von Orthophotokarten benötigt weniger Fachleute als die Erstellung von konventionellen Strichkarten gleichen Maßstabes. Ist dies aber allein der Grund, weshalb Orthophotokarten und Orthophotopläne erstellt werden? Wir glauben es nicht. Der Vergleich von konventionellen Strichkarten mit Orthophotokarten zeigt, daß Orthophotokarten einen sehr großen Aussagewert haben. Der Aussagewert von Orthophotokarten ist aber wesentlich abhängig von deren Maßstab. Je größer der Maßstab der Orthophotokarte ist, um so reichhaltiger wird die Karte und umgekehrt. Es wurden uns Photokarten im Maßstab 1 : 75000 und noch kleineren Maßstabes gezeigt, von denen wir uns aber sagen mußten, daß diese Orthophotokarten keinen großen Aussagewert mehr haben. Warum? Die Darstellung der Einzelheiten in der Orthophoto erfolgt ja nicht durch Signaturen, die so groß gezeichnet werden, daß sie von jedem normal-sichtigen Menschen einfach gelesen und verstanden werden können. Die Darstellung erfolgt durch das Objekt selbst, das vom menschlichen Auge erkannt werden muß. Ein kleines Beispiel: eine Straße, die 10 m breit ist, wird im Maßstab 1 : 100000 in der Orthophotokarte als ein feiner Strich von  $\frac{1}{10}$  mm Dicke abgebildet. Daß eine solche Orthophoto dem Betrachter eine gute Übersicht gibt, kann nicht behauptet werden. Wenn man sich also Gedanken macht über die Einsatzmöglichkeit von Orthophotos, gilt es als erstes einmal abzuklären, in welchem Maßstabe man Ortho-