

## Entwicklung und Kalibrierung eines kameraunterstützten Hängetachymeters

**Michael Möser und Stefan Knoblach**

Technische Universität Dresden, Geodätisches Institut  
Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elfsfleth

### **ZUSAMMENFASSUNG :**

*Senkrechte bzw. schräge Messungen mit einem Tachymeter im Nadir in einem Vertikalwinkelbereich von 170 bis 230 gon können nicht durchgeführt werden. Für eine vertikale polare Punktübertragung, d. h. Koordinatenbestimmung als Ersatz für die Schachtlotung, ist dies aber notwendig.*

*Im folgenden Beitrag wird die Entwicklung eines Hängetachymeters mit einem Neigungssensor beschrieben. Der Neigungssensor übernimmt dabei die Aufgabe eines Stehachs-kompensators. Die Messgenauigkeit des Gesamtsystems liegt im Bereich der Herstellerangaben des eingesetzten Tachymeters.*

### **ABSTRACT:**

*With a conventional total station no measuring can be conducted within a vertical angle range from 170 to 230 gon. But even in tasks of shaft surveying it would be useful. In the following article a method is described where a total station is installed in a hanging position and is combined with a biaxial inclinometer. Here the inclinometer assumes the function of a vertical axis compensator. The functional range of the total station remains the same. An external software controls the instrument and carries out the data analysis. After first investigations we can say that the precision of the complete system is equal to the precision of the used total station.*

## 1 Einleitung

Bei einer vertikalen Punktübertragung werden meist die Verfahren der Lotung angewandt. Dazu gehören

- die optische Lotung mit einer optischen Ziellinie,
- die mechanische Lotung mit einem Lotdraht (Pendel, Schwimm- bzw. Umkehrlot),
- das Laserlot, z. B. zur Zentrierung von Totalstationen.

Schräge oder fast senkrechte Messungen mit Tachymeter können mit einem Schachtlotprisma oder Steilsichtokular realisiert werden. Bei der polaren vertikalen Punktbestimmung (2- oder 3D-Koordinaten) werden der Zenitwinkel zwischen Lotlinie und Zielachse, die Horizontalrichtung des Zielpunktes und die Schrägdistanz gemessen und damit die Koordinaten des Lotpunktes berechnet. Dabei muss sich der Lotpunkt nicht direkt über (Zenit) oder unter (Nadir) dem Instrumentenstandpunkt befinden (MÖSER 2012). Richtungsmessungen oder -übertragungen ohne Einschränkung des Schwenkbereichs des Vertikalwinkels sind mit dem aus dem Markscheidewesen bekannten Hänge-theodolit möglich.

Um tachymetrische Messungen nahezu senkrecht durchführen zu können, wurde ein Tachymeter in hängender Position montiert (KNOBLACH & MÖSER 2007). Dieser Hängetachymeter ermöglicht Vertikalwinkelmessungen im Nadirbereich zwischen 170 gon und 230 gon. Dafür wird ein (beliebiges) Tachymeter in hängender Position montiert. In dieser Position funktioniert der interne Neigungskompensator nicht und wird durch einen externen Neigungssensor eine Nivel 20 von Leica Geosystems ersetzt. Zusätzlich können an den Tachymeter eine Okularkamera und eine Motorisierung der Fokussierlinse angebracht werden. Es werden verschiedene Anwendungsgebiete aufgezeigt und Genauigkeitsuntersuchungen durchgeführt (KNOBLACH 2011).

## 2 Messungen mit einem Hängetachymeter

Aufgrund der steilen Zielungen wirken sich Achsabweichungen und die Stehachsenneigung besonders auf die Horizontalrichtung und den Vertikalwinkel aus. Bei einer geräteinternen automatischen Korrektur sollte beachtet werden, dass die Korrekturwerte nur bis zu einem Grenzwinkel berechnet werden. Diese Grenzwinkel bilden je einen Sektor von  $\pm 20$  gon um den Zenit und den Nadir (GLAUS & INGENSAND 2002). Für Fernrohrpositionen mit einem Zenitwinkel innerhalb dieser Sektoren werden keine effektiven Korrekturen mehr berechnet, sondern nur noch die entsprechenden Korrekturen für die Grenzwinkel angebracht (DZIERZEGA & SCHERRER 2003). In der Literatur werden für den Einfluss der Achsenabweichungen entweder nur Näherungsgleichungen ohne Herleitung angegeben oder es erfolgt eine Herleitung mit Hilfe der sphärischen Trigonometrie. Diese Gleichungen vernachlässigen jedoch den gemeinsamen Einfluss von Zielachsenabweichung und Kippachsenneigung und führen für Messungen nahe dem Zenit bzw. dem Nadir zu nicht korrekten Ergebnissen.

Beim Hängetachymeter werden drei rechtwinklige Koordinatensysteme benötigt (Abb. 1):

- das Koordinatensystem des Neigungssensors ( $X_N, Y_N, Z_N$ ),
- das Koordinatensystem des Tachymeters ( $X_T, Y_T, Z_T$ ),
- das sich an der Lotlinie orientierende übergeordnete System ( $X, Y, Z$ ).

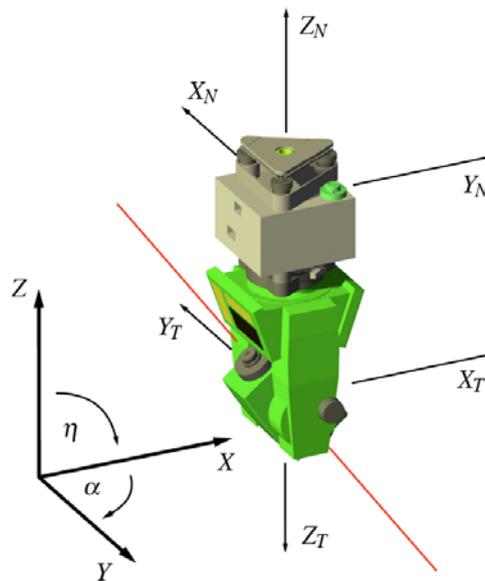


Abb. 1: Bezugssysteme beim Hängetachymeter

Die gegenseitige Lage und Orientierung der Koordinatensysteme zueinander ist bekannt bzw. kann durch Kalibrierung bestimmt werden. Zwischen den Koordinatensystemen werden entsprechende Transformationen durchgeführt. Die am Horizontal- und Vertikalkreis abgegriffenen Winkel  $\alpha_T$  und  $\eta_T$  beziehen sich auf das System des in hängender Position befestigten Tachymeters ( $X_T, Y_T, Z_T$ ), dessen Stehachse im Allgemeinen nicht parallel zur lokalen Lotlinie ist. Zur weiteren Bearbeitung werden diese Winkel zuerst in das System eines Tachymeters in aufrechter Position ( $X'_T, Y'_T, Z'_T$ ) überführt. Es gelten folgende Gleichungen:  $\alpha'_T = -\alpha_T$  und  $\eta'_T = -\eta_T + 200$  gon. Danach werden die bekannten Korrekturen der Achsabweichungen und der (Rest-) Stehachsenneigung angebracht. Mit der Nivel 20 werden die Neigung in Richtung der Ziel- und Kippachse bestimmt.

### 3 Kombination mit einem CCD-Sensor

Die Okularkamera wurde am Geodäsie und Geodynamik Labor (GGL) des IGP der ETH Zürich entwickelt und ist Bestandteil des astro-geodätischen Online-Beobachtungssystems DAEDALUS. Ein Kriterium bei der Entwicklung war, das verwendete Tachymeter nicht konstruktiv zu verändern. Hierzu wird der verwendete monochrome CCD-Sensor des Typs Guppy der Firma Allied Vision Technologies (AVT) anstelle des Okulars direkt hinter der Strickkreuzebene platziert (Abb. 2).



Abb. 2: Kamera und Fokussierantrieb

Durch eine zusätzliche auf dem Objektiv angebrachte divergente Linse wird der Schnittpunkt des Strahlengangs um den Abstand zwischen Strichkreuz- und Sensorebene nach hinten verschoben. Als Folge daraus ist zwar das Strichkreuz auf dem Bild des CCD-Sensors nicht sichtbar, man erhält jedoch im gesamten Entfernungsbereich ein scharfes Abbild. Der auf dem CCD-Sensor abgebildete Winkelbereich beträgt in Verbindung mit einem TCA 2003 in der Höhe 1,24 gon und in der Breite 0,93 gon (KNOBLACH 2009).

Um auch das Fokussieren zu automatisieren, wurde ein Antrieb am Fokussiering des Tachymeters angebracht. Dies wurde mit einem Schrittmotor und einem Planetengetriebe realisiert, welcher über einen Zahnriemen mit dem Fokussiering verbunden ist. Alle Komponenten sind auf einer Grundplatte montiert, welche an den Bohrungen für die Gehäuseabdeckung angeschraubt wird. Das Gewicht des Fokussierantriebs und der Kamera auf das Fernrohr wird durch ein Gegengewicht an der Objektivseite kompensiert. Das Verfahren zur Steuerung der Fokussierung erfolgt, wenn keine Distanzinformationen vorliegen, über die Maximierung des Bildkontrasts. Zur Bestimmung des Bildkontrasts wird die Varianz der Grauwerte der einzelnen Pixel eines zentralen Bildausschnitts verwendet. Zur Bestimmung der Position des Kontrastmaximums wird zuerst eine Grobsuche über den gesamten Fokusbereich durchgeführt. Um die Position mit dem höchsten gemessenen Kontrast wird der Bereich für die anschließende Feinsuche festgelegt. Mit diesen Werten kann eine Polynomfunktion zweiten Grades um den Bereich angepasst werden. Die Position des Kontrastmaximums ergibt sich aus den Parametern der Funktion und kann vom Schrittmotor entsprechend positioniert werden. Die Untersuchungen mit diesem Algorithmus ergaben eine Position, die in ca. 95% der Fälle im Bereich der Tiefenschärfe (ca. 0,4% des Fokusbereichs) um die beste Fokusposition lag.

## 4 Anwendung

Die Erprobung des Hängetachymeters für die vertikale Punktübertragung erfolgte in Zusammenarbeit mit der TU Bergakademie Freiberg im Lehr- und Forschungsbergwerk Reiche Zeche in Freiberg. Als Referenz für die vertikale Punktübertragung diente ein Schwergewichtslot. Dieses wurde zusammen mit dem Hängetachymeter, einem TCA 2003 von Leica Geosystems, auf einer Konsole über der Schachttöffnung montiert (Abb. 3).



Abb. 3: Hängetachymeter im Schacht



Abb. 4: Schwergewichtslot und Zieltafel

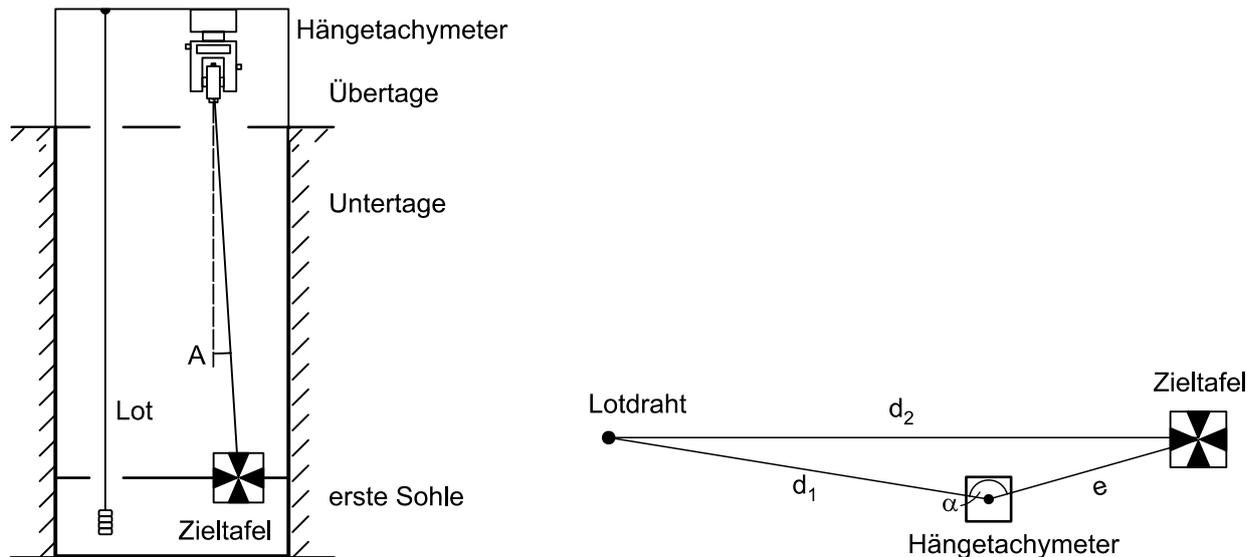


Abb. 5: Richtungs- und Zenitwinkelmessung

Das Lot erreichte die erste Sohle mit einer Teufe von ca. 147 m, auf der eine beleuchtete Zieltafel angebracht wurde (Abb. 4). Die Richtung A zur Zieltafel wurde durch satzweise Richtungsmessung und mittels Zenitwinkelmessung nach MORLOT (1989) bestimmt (Abb. 5). Zugleich wurde der horizontale Abstand e zwischen dem Schwergewichtslot und der Zieltafel untertage gemessen. Die Abweichung zwischen dem gemessenen und dem aus den Richtungsmessungen bestimmten Abstand betrug 1 mm. Die mit den unterschiedlichen Verfahren bestimmten Positionen der Zieltafel in einer Teufe von 147 m unterschieden sich nur um wenige Zehntelmillimeter.

## 5 Literatur

- DZIERZEGA, A. & SCHERRER, R. (2003): Messen mit elektronischen Tachymetern. Leica Geosystems, Forschungsbericht.
- GLAUS, R. & INGENSAND, H. (2002): Tunnel Surveys for New CERN Particle Accelerators. In: FIG XXII. International Congress Washington.
- KNOBLACH, St., MÖSER, M. (2007): Messungen mit einem Tachymeter in hängender Position. 8. Geokinematischer Tag. Schriftenreihe des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie an der Technische Universität Bergakademie Freiberg.
- KNOBLACH, St. (2009): Entwicklung, Kalibrierung und Erprobung eines kameraunterstützten Hängetachymeters. Dissertation TU Dresden.
- KNOBLACH, St. (2011): Entwicklung, Kalibrierung und Erprobung eines kameraunterstützten Hängetachymeters. In: AVN 118 (4)
- MORLOT, J.J. (1989): Méthode et construction du line fixe transmanche – methods et instruments topométriques. In: X,Y,Z-Association Francaise de Topographie 40, S 13-20
- MÖSER, M. u. a. (2012): Handbuch Ingenieurgeodäsie, Band Grundlagen. 4. Auflage. Wichmann Verlag, Berlin/Offenbach.