

ENTWICKLUNG EINES KAMERAUNTERSTÜTZTEN HÄNGETACHYMETERS

Michael Möser, Stefan Knoblach und Jan Schmidt
Technische Universität Dresden
Geodätisches Institut
01062 Dresden

Kurzfassung: Mit einem Hängetachymeter kann eine vertikale Punktübertragung mit Vertikalwinkeln im Nadir von 170 bis 230 gon realisiert werden. Dabei wird ein in hängender Position befindliches Tachymeter mit einem externen Neigungssensor kombiniert. Zusätzlich werden eine Okularkamera und ein Schrittmotor zur automatisierten Fokussierung des Tachymeters montiert. Für die optische Zielerkennung werden sowohl manuelle Verfahren als auch Bildverarbeitungsalgorithmen, wie die Messung punktförmiger Muster durch Kantendetektion, eingesetzt.

1 Vertikale Punktbestimmung

Bei Absteckungen und Überwachungsmessungen erfolgt die vertikale Punkt- oder Richtungsübertragung mittels mechanischer oder optischer Lotung. Dabei werden Punkte in die Lotlinie eingewiesen oder es wird die Größe und Richtung der Abweichungen aus der Lotlinie bestimmt. Richtungsmessungen von oben ohne Einschränkung des Schwenkbereichs des Vertikalwinkels sind mit dem im Markscheidewesen bekannten Hängetheodolit möglich. Die Horizontierung des Gerätes erfolgt mittels einer Röhrenlibelle. Bei diesem Verfahren geht jedoch eine Reststehachsneigung in Zielrichtung direkt in die Vertikalwinkelmessung ein.

Eine Weiterentwicklung des Hängetheodolits stellt das als Patent anerkannte [1] so genannte „Hängetachymeter“ dar. Dessen Funktionsprinzip basiert auf einem Tachymeter, welches in hängender Position kopfüber stehend an der Decke befestigt wird. Mit diesem Instrument können Punkte auch in einem Vertikalwinkelbereich zwischen 170 gon und 230 gon senkrecht oder schräg gemessen bzw. übertragen (abgesteckt) werden.

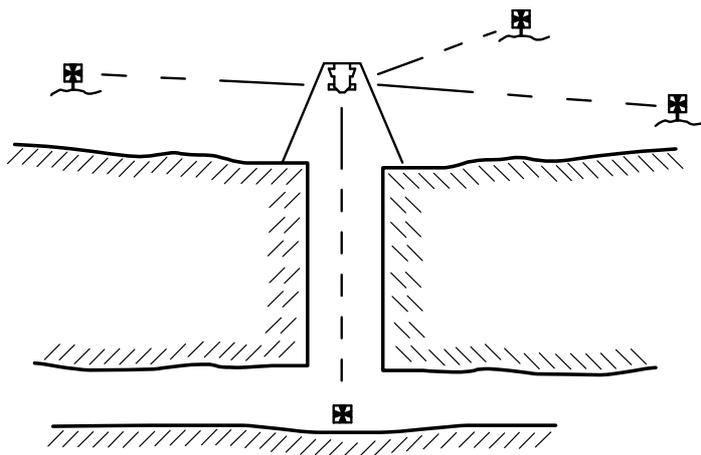


Abb. 1: Anschluss eines untertägigen Punktes an ein übertägiges Netz

In hängender Position werden die Orientierung im obertägigen Festpunktfeld und gleichzeitig die polare Bestimmung von Punkten in vertikaler oder geneigter Visur ermöglicht (Abb. 1).

Bei diesem Verfahren bleibt der gesamte Funktionsumfang des eingesetzten Tachymeters erhalten. So kann der Visurlaser des Tachymeters zur Signalisierung von Punkten eingesetzt werden oder mit einem motorisierten Tachymeter Messabläufe automatisiert werden. Die Reststehachsneigung des Hängetachymeters kann durch die Kombination mit einem zweiachsigen Neigungssensor erfasst und als Korrektur an die Messwerte angebracht werden.

2 Hängetachymeter und Neigungssensor

Das entwickelte Hängetachymeter besteht aus drei wesentlichen Teilen [2]

- einem Tachymeter (z.B. TPS 1100, Leica Geosystems, Abb. 2),
- einem Neigungssensor (Nivel 20, Leica Geosystems) und
- einer Aufhängevorrichtung.

Prinzipiell kann jedes Tachymeter zum Hängetachymeter umgebaut werden, sofern seine Funktionalität und die Genauigkeit nicht durch die hängende Position beeinträchtigt werden. Die zur Kompensation der Reststehachsneigung eingebaute elektronische Libelle liefert in dieser Position keine Werte und muss abgeschaltet werden. Um trotz deaktiviertem Kompensator die Reststehachsneigung zu erfassen, wurde das Tachymeter mit einem externen zweiachsigen Neigungssensor kombiniert.

Der verwendete Neigungssensor Nivel 20 von Leica Geosystems ermöglicht das gleichzeitige präzise Messen von Neigung und Neigungsrichtung (2-Achs-Neigungssensor). Er arbeitet wie der interne Kompensator des Tachymeters nach dem Prinzip des Flüssigkeitshorizonts.



Abb. 2: Hängetachymeter in Messposition

Neben der Korrektur infolge Reststehachsneigung müssen Horizontal- und Vertikalwinkel aufgrund der Abweichung von der Idealgeometrie der Tachymeterachsen korrigiert werden. Dazu gehören die Zielachsabweichung, die Höhenindexabweichung und der Einfluss der Kippachsneigung. Besonderheiten, die sich dabei aus der hängenden Position bzw. bei der Zielung nahe dem Zenit ergeben, sind zu beachten [3].

3 Tachymeter und CCD-Sensor

Um die Anwendungsmöglichkeiten des Hängetachymeters zu erweitern, kann es mit einer Okularkamera kombiniert werden. Die eingesetzte Okularkamera (Abb. 3) wurde am Geodäsie und Geodynamik Labor (GGL) der ETH Zürich entwickelt [4].



Abb. 3: Okularkamera

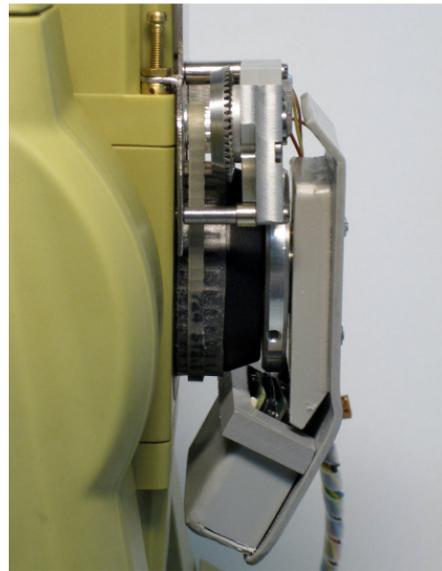


Abb. 4: Fokussierantrieb

Der CCD-Sensor wird anstelle des Okulars direkt hinter der Strichkreuzebene montiert. Als Folge ist das Strichkreuz auf dem Bild des CCD-Sensors nicht als störende horizontale und vertikale Linien sichtbar, was die Verarbeitung der Bilddaten mit Bildverarbeitungsalgorithmen wesentlich erleichtert.

Ein scharfes Abbild des Zielpunktes auf dem CCD-Sensor ist eine entscheidende Voraussetzung, um eine verlässliche Bildverarbeitung durchführen zu können. Für automatisierte Abläufe wird außerdem eine motorisierte Fokussierung benötigt. Ein Grundgedanke bei der Entwicklung des Hängetachymeters war es, keine konstruktiven Veränderungen am Tachymeter selbst vorzunehmen. Daher wurde der Schrittmotor als Fokussierantrieb am Fokussiertrieb des Tachymeters angebracht (Abb. 4). Durch die Auflösung des Schrittmotors und die Übersetzung kann die Position des Fokussiertrings von der kürzesten Zielweite bis unendlich in 2000 Schritte unterteilt werden.

4 Bildauswertung

Ist die Distanz eines Zielpunktes bekannt, wird die Fokussierlinse über den Schrittmotor in die entsprechende Position gebracht, um ein scharfes Abbild auf dem CCD-Sensor zu erhalten. In der Mehrzahl der Fälle liegen jedoch keine Distanzinformationen vor. Dann muss die Steuerung der Fokussierung auf der Grundlage der Bildinformationen erfolgen. Zur Bestimmung der besten Fokussierposition wurden die Varianzen der Grauwerte (Kontrast) des Bildes in Abhängigkeit von der Position der Fokussierlinse ermittelt [5]. Für die Bestimmung der Bildkoordinaten des Zielpunktes gibt es verschiedene Verfahren aus dem Bereich der Photogrammetrie [6] und der Computer Vision. Zwei Verfahren kamen zur Anwendung:

- die manuelle Punktzielung im Bild und
- die automatisierte Messung punktförmiger Muster durch Ellipsenanpassung.

Bei der manuellen Anzielung wird mit dem Mauszeiger die Position des Zielpunktes im Bild bestimmt (Abb. 5). Um das Zentrum des Zielpunktes genauer als die ganzzahligen Bildkoordinaten identifizieren zu können, wird der Bildausschnitt vergrößert. Als Vergrößerungsfaktor wird $m = 10$ gewählt, da die sich so ergebende Auflösung von 0,1 Pixel einem Winkel von 0,15 mgon entspricht. Aus den Bildkoordinaten können nun die Horizontalrichtung und der Vertikalwinkel berechnet werden.

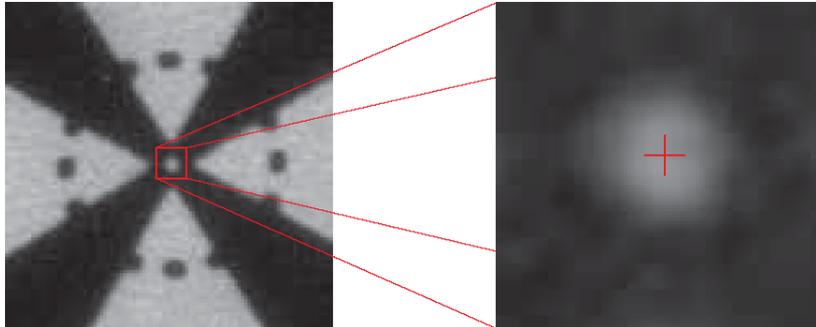


Abb. 5: Manuelle Punktzielung im Bild mit Ausschnittsvergrößerung (rechts)

Als Zielpunkte können auch Klebmarken oder Lichtpunkte eingesetzt werden (Abb. 6). Die Bildkoordinaten der Zentren sind dann in drei Schritten zu berechnen: Begrenzung der Bildbereiche durch Näherungswerte, Bestimmung von Punkten (Pixeln) auf den Randbereichen der Muster und Anpassung von Ellipsen an die gefundenen Punkte.

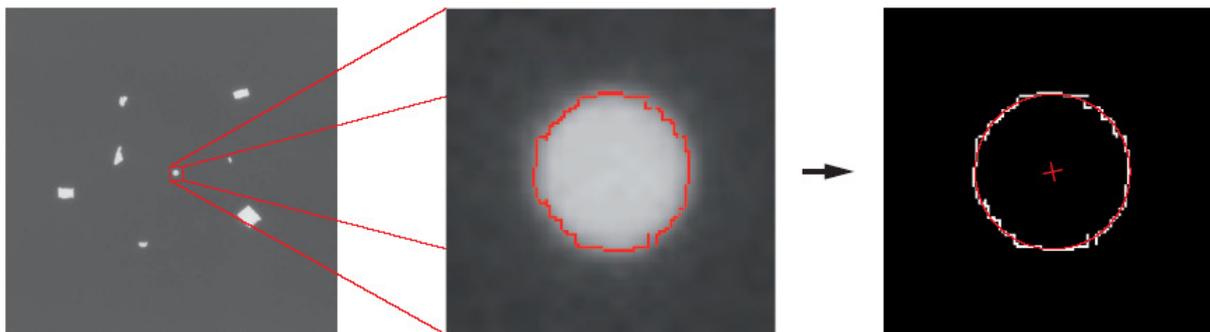


Abb. 6: Messung punktförmiger Muster

5 Anwendungen

Das Hängetachymeter wurde bei Messungen mit steilen Sichten in einem Überwachungsnetz der Talsperre Schräh [7] erstmals eingesetzt. Gleichzeitig erfolgte eine vertikale Punktübertragung in den Lotschächten der Staumauer. Für die Realisierung der Zwangszentrierung auf den Beobachtungspfeilern wurde ein spezieller Zentrierrahmen entwickelt (Abb. 7). Über zwei Röhrenlibellen kann eine Zentriergenauigkeit $< 0,2$ mm garantiert werden.

Für den Einsatz des (Hänge-) Tachymeters mit Okularkamera und automatisierter Fokussierung bei Fluchtungsverfahren liegen erste Ergebnisse aus Laboruntersuchungen vor.



Abb. 7: Hängetachymeter im Zentrierrahmen

Literaturverzeichnis

- [1] Möser, M.; Knoblach, St.: Patentschrift (Nr. 102008060798) „Einrichtung zur Durchführung tachymetrischer Winkel- und Streckenmessungen“, 2009
- [2] Knoblach, St., Möser, M.: Messungen mit einem Tachymeter in hängender Position. Schriftenreihe des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Heft 2007-2
- [3] Knoblach, St.: Entwicklung, Kalibrierung und Erprobung eines kameraunterstützten Hängetachymeters. Dissertation, TU Dresden 2009
- [4] Guillaume, S.; Bürki, B.: Digital Astro-Geodetic on-line Observation System DAEDALUS. Geodesy and Geodynamics Lab. ETH Zürich 2008. User manual version 1.0
- [5] Walser, B. H.: Development and calibration of an image assisted total station. ETH Zürich, Dissertation No. 15773, 2004
- [6] Luhmann, Th.: Nahbereichsphotogrammetrie – Grundlagen, Methoden und Anwendungen, Wichmann Verlag Heidelberg 2003
- [7] Schmidt, J.; Möser, M: Rutschungsbeobachtungen und Höhenübertragung an der Talsperre Schräh (Schweiz). Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule Mittweida Nr. 1/2006