

# Technische Präzisionsmessungen und kinematisches Tracking mit motorisierten Digitalkameratheodoliten

Stefan HAUTH und Martin SCHLÜTER

## Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird eine Realisierung motorisierter Digitalkameratheodolite für Präzisionsmessungen und kinematisches Tracking vorgestellt. Als Grundlage dient ein vom i3mainz entwickelter Digitalkameratheodolit auf der Grundlage des Leica TM5100 bzw. TM5100A. Hiermit sind hochgenaue Kollimationszielungen innerhalb des kalibrierten Bereichs des Fernrohrblickfeldes möglich. Dies ermöglicht einfachere Präzisionsmessungen auf statische Ziele und hochgenaue Zielungen auf sich moderat bewegende Ziele (Tracking). Des Weiteren wird ein kurzer Einblick in aktuelle und zukünftige Entwicklungen getätigt.

## 1 Hintergrund

Die am i3mainz realisierten Digitalkameratheodolite erlauben die hochgenaue Registrierung von Kollimationszielungen, diese werden zur Justierung und Kalibrierung von Laserterminals während der Fertigung und der Verifikation genutzt. Laserterminals (Abbildung 1) dienen der Datenübertragung zwischen zwei Satelliten oder zwischen Satellit und Bodenstation mit Hilfe von Laserlicht.

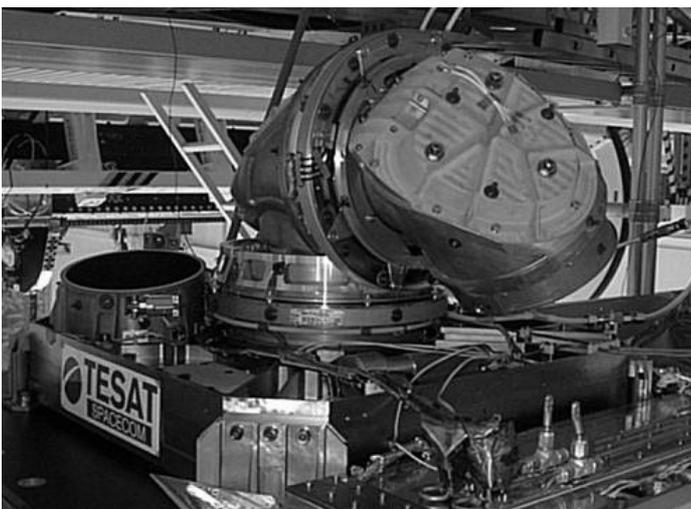


Abbildung 1: Laserterminal auf einem Satelliten montiert

Bei terrestrischen Tests seitens der Firma Tesat-Spacecom GmbH & Co. KG wird im Jahr 2005 eine Datenrate von 5,625 Gigabit pro Sekunde erzielt. Seit Herbst 2007 arbeiten zwei Laserterminals auf den Satelliten TerraSAR-X (Deutschland) und NFIRE (USA) erfolgreich im Orbit. Im Frühjahr 2008 werden erfolgreich Daten zwischen diesen beiden Satelli-

ten über eine Entfernung von etwa 5000 km hin und zurück übertragen, erneut wird die oben angegebenen Datenrate fehlerfrei realisiert.

## 2 i3mainz Digitalkameratheodolite

### 2.1 Hardwareseitiger Aufbau

Auf der Hardwareseite wurden bislang zwei motorisierte Präzisionstheodolite Leica TM5100™ und TM5100A™ mit koaxial angeordneten digitalen Industriekameras kombiniert (Abbildung 2). Das baukastenartige Design erlaubt einen zügigen Kamerawechsel und den Einsatz von Spezialobjektiven für Messungen in Spektralbereichen außerhalb des sichtbaren Lichts. Bei der Konstruktion der Kamerahalterung wurde auf eine möglichst starre Verbindung zwischen Kamera und Fernrohr geachtet und auf die Beibehaltung des Schwerpunktes nahe der Kippachse durch geeignete Gegengewichte. Die Fixierung der Halterung geschieht ausschließlich nur an den für Aufsatz-EDMs vorgesehenen Punkten und das Gesamtgewicht der Konstruktion liegt unter dem Maximalgewicht eines EDMs. Des Weiteren wurde auf möglichst einfachen Rückbau für manuelle Messungen geachtet.



Abbildung 2: Digitalkameratheodolite auf Basis Leica TM5100™ bzw. TM5100A™

### 2.2 Blickfeldkalibrierung

Die am i3mainz realisierten Digitalkameratheodolite erlauben die hochgenaue Registrierung von Kollimationszielungen, sobald ein Ziel innerhalb des kalibrierten Bereichs des Fernrohrblickfelds des Theodoliten sichtbar ist. Das konkrete Anfahren des Zieles mit dem Fadenkreuz des Theodoliten ist nicht erforderlich. Der kalibrierte Sichtfeldbereich wird kreisförmig um den Fadenkreuzmittelpunkt herum festgelegt (Abbildung 3).

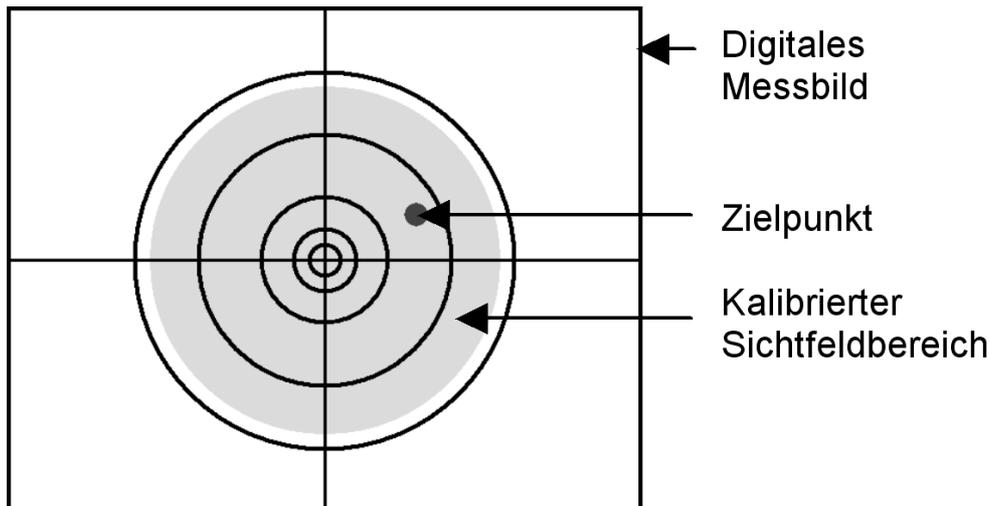


Abbildung 3: Zielpunkt im kalibrierten Sichtfeldbereich (schematisch)

Die Selbstkalibrierung des Gesamtsystems und somit auch die Blickfeldkalibrierung erfolgen durch automatisch durchgeführte Zielungen auf statische Ziele (in ca. fünf Minuten) und automatisierter Auswertung mittels subpixelgenauer digitaler Bildverarbeitung und Best-Fit-Algorithmen. Die statischen Ziele liegen gut verteilt über den zu kalibrierenden Bereich der Fadenkreuzebene (Abbildung 4). Durch Überprüfungen zeigte sich, dass das Kalibrierschema ausreicht, um die Winkelmessgenauigkeit des TM5100 auszuschöpfen, siehe SCHLÜTER, HAUTH, HEB 2009.

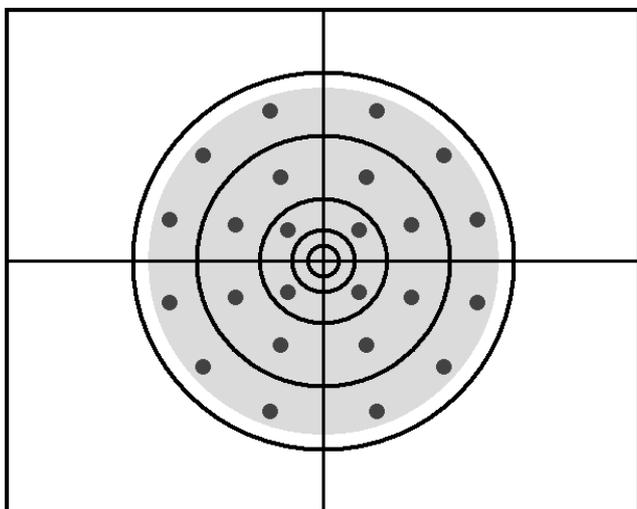


Abbildung 4: Beispiel für die Verteilung der statischen Zielungen für die Selbstkalibrierung

## 2.3 Tracking

Messungen erfolgen nur bei ruhendem Theodolit, während ein bewegtes Ziel die Fadenkreuzebene quert. Bei ruhendem Theodolit kann die Richtung zum Ziel hochgenau ermittelt werden, sofern sich das Ziel innerhalb des kalibrierten Sichtfeldbereichs befindet. Zur großräumigen Verfolgung eines Ziels kann der Theodolit softwareunterstützt schrittweise nachgeführt werden. In den Bewegungsphasen sind allerdings keine hochpräzisen Messungen

möglich. Die Trackinggeschwindigkeit eines moderat bewegenden Kollimationsziel (z.B. Laserdot) entspricht der Aufnahmegeschwindigkeit der verwendeten Kamera.

## 2.4 Berücksichtigung kleiner Kamerabewegungen

Die Schaffung einer starren Verbindung zwischen externer Kamera und Fernrohr gelingt aus mechanischen Gründen nur in gewissen Grenzen. Insbesondere nach dem Wechsel der Fernrohrlage treten Kamerabewegungen auf, die teilweise wohl schwerkraftbedingt sind, teilweise aber auch auf thermische oder andere Ursachen zurückgehen. Um die Auswirkungen der Kamerabewegungen zu eliminieren, wird nach einer Kameramontage zunächst ein Referenzbild der Fadenkreuzebene mit Blick auf einen diffusen Hintergrund aufgezeichnet. Die Schnittpunkte der Fadenkreuzlinien dienen als Grundlage für eine zweidimensionale Transformation (Abbildung 5). Jedes weitere Messbild wird also zunächst über eine einfache Koordinatentransformation zum Referenzbild in Bezug gesetzt, um die Auswirkungen eventueller Kamerabewegungen zu eliminieren. Die Punktverschiebungen zwischen Referenzbild und Messbild werden über ein klassisches subpixelgenaues Kreuzkorrelationsverfahren ermittelt.

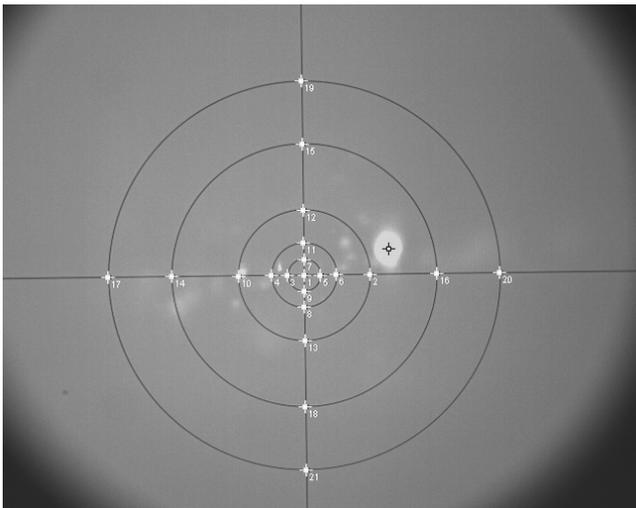


Abbildung 5: Messbild – Hervorgehoben sind die Schnittpunkte der Fadenkreuzlinien für den Bezug zu dem Referenzbild und der Zielpunkt (Mitte Laserfleck).

## 2.5 Softwareseitige Umsetzung

Die softwareseitige Umsetzung erfolgt durch die Entwicklung einer Benutzeroberfläche (Abbildung 6), die dem Benutzer die Steuerung des Digitalkameratheodolits ermöglicht, darunter auch die Durchführung der automatischen Selbstkalibrierung. Die Bildverarbeitung geschieht weitgehend in dem Open Source Programm ImageJ. Dafür sind entsprechende Plugins und Makros in der Programmiersprache Java entwickelt wurden.

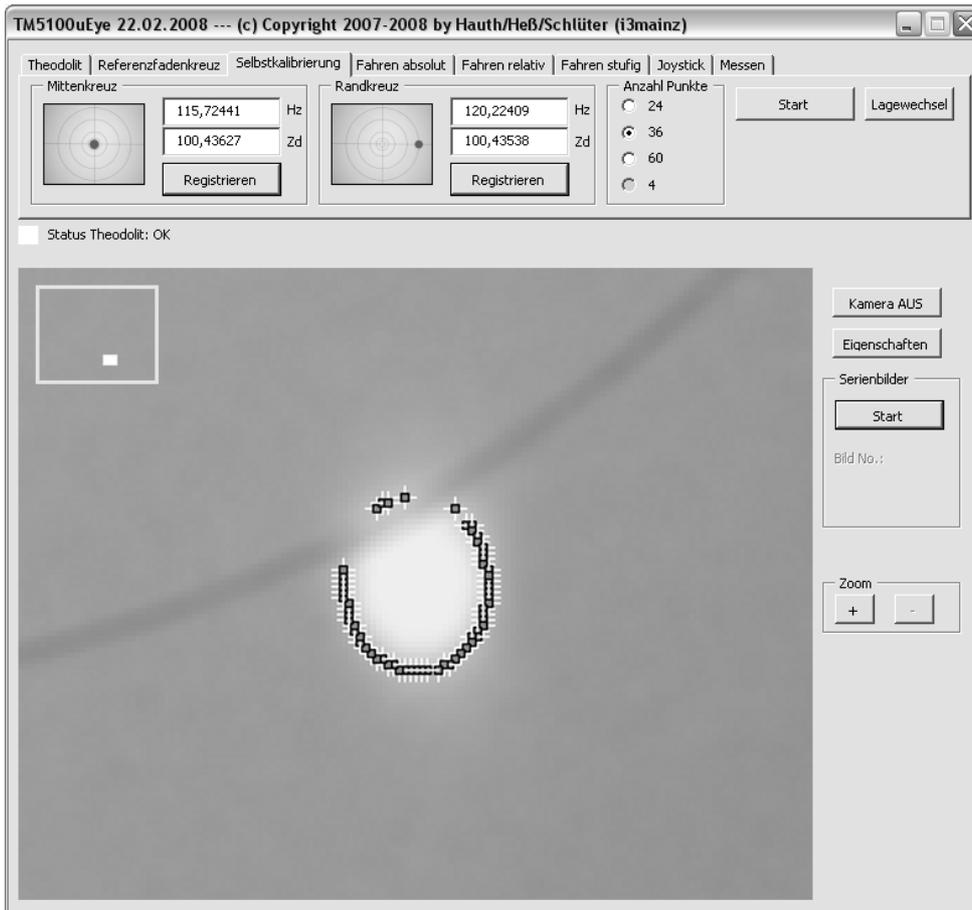


Abbildung 6: Benutzeroberfläche

### 3 Ausblick und Fazit

Zu Videotheodoliten und Videotachymetern liegen eine Reihe ausführlicher Arbeiten vor. Wesentliche Vor- und Nachteile unterschiedlicher Kombinationen von Theodoliten und CCD-Kameras werden von SCHIRMER 1994 diskutiert. Einen breiten Überblick liefert JURETZKO 2005. Die derzeit seitens des Anbieters Topcon verfügbare kommerzielle Lösung, vgl. SAKUMURA 2007, zielt vornehmlich auf klassische tachymetrische Anwendungen und ist unserem ersten Eindruck nach für die hier vorzunehmenden Kollimationsmessungen ungeeignet.

Während vorliegende Veröffentlichungen zu Videotachymetern meist eine Kameraintegration propagieren, sind im Umfeld unserer Arbeiten zahlreiche Ideen hinsichtlich einer stark modularen Anordnung von Digitalkamera, Optik und Fokussteuerung entstanden. Je nach Verteilung der Aufgabenfelder eines Geräteanwenders bzw. Messdienstleisters mag der optionale Einsatz eines modularen Digitalkameratheodolits oder -tachymeters wirtschaftlicher sein als der Umstieg auf ein vergleichbares vollständig gekapseltes System. Insgesamt sehen wir hier einen interessanten Impuls für zukünftige Arbeiten.

## 4 Literatur

- Juretzko, M. (2005): *Reflektorlose Video-Tachymetrie – ein integrales Verfahren zur Erfassung geometrischer und visueller Informationen*. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft Nr. 588, München.
- Sakumura, R., Maruyama, K. (2007): *Development of a New Generation Imaging Total Station System*. Journal of Surveying Engineering 133:1, S. 14-22.
- Schirmer, W. (1994): *Universaltheodolit und CCD-Kamera – ein unpersönliches Meßsystem für astronomisch-geodätische Beobachtungen*. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft Nr. 427, München.
- Schlüter, M., Hauth, S., Heß, H. (2009): *Selbstkalibrierung motorisierter Digitalkamera-theodolite für technische Präzisionsmessungen*. Zeitschrift für Vermessungswesen, 134. Jg., Heft 1/2009, S. 22 – 28.