

Hirt, Christian:

## **Entwicklung und Erprobung eines digitalen Zenitkamarasystems für die hochpräzise Lotabweichungsbestimmung**

Dipl.-Ing. Christian Hirt wurde am 09.07.2004 mit der Dissertation *Entwicklung und Erprobung eines digitalen Zenitkamarasystems für die hochpräzise Lotabweichungsbestimmung* zum Doktor-Ingenieur promoviert. Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Günter Seeber und Prof. Dr.-Ing. Christian Heipke haben die Dissertation als Referenten begutachtet. Vorsitzender der Promotionskommission war Prof. Dr.-Ing. Jürgen Müller. Die Dissertation ist in der Reihe Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Universität Hannover (ISSN 0174-1454) erschienen (Heft Nr. 253, 186 Seiten).

Gegenstand der Dissertation ist die Entwicklung des digitalen Zenitkamarasystems TZK2-D (Transportable Zenitkamera 2 – Digitalsystem) für die hochpräzise Online-Bereitstellung von Lotrichtungen und Lotabweichungen und dessen Erprobung zur wirtschaftlichen Nutzung im Bereich der Schwerefeldbestimmung. Schwerpunkte bilden die instrumentelle Realisierung und die Kalibrierung des Zenitkamarasystems, die echtzeitfähige Prozessierung der Messdaten und die umfassende Untersuchung der wirksamen Fehlerquellen.

Das entwickelte Zenitkamarasystem TZK2-D besteht aus einer digitalen Zenitkamera zur astrogeodätischen Lotrichtungsbestimmung und einem GPS-Empfänger für die Epochenregistrierung und Messung von geodätischen Koordinaten; durch Kombination beider Systemkomponenten können Lotabweichungen bestimmt werden. Die Zenitkamera ist mit zwei hochgenauen Neigungssensoren vom Typ HRTM (High Resolution Tiltmeter) ausgestattet, die den Bezug zur physikalischen Lotrichtung liefern. Integraler Bestandteil der digitalen Zenitkamera ist ein hochauflösender CCD-Sensor, der die astrometrischen Bilddaten direkt nach der Erfassung für die Auswertung bereitstellt. Durch Nutzung der CCD-Technologie und der digitalen Bildverarbeitung wird der Gesamtprozess der Lotrichtungsbestimmung im Vergleich zu früheren, analogen Zenitkamaras erheblich – um etwa eine Größenordnung – beschleunigt.

Für die automatisierte Datenakquisition und -prozessierung wurde das bildverarbeitende Softwaresystem AURIGA (Automatic Realtime Image Processing System for Geodetic Astronomy) entwickelt, das die Lotrichtungen und Lotabweichungen unmittelbar nach der Messung bereitstellt. Die Datenprozessierung umfasst die Extraktion der abgebildeten Sterne und deren Identifizierung mit geeigneten Referenzsternen, die auf Grundlage der Sternkataloge Tycho-2 und UCAC (United States Naval Observatory CCD Astrograph Catalog) als hochpräzise Realisierungen des ICRS aufbereitet werden. Durch astrometrische Datenreduktion und die Berücksichtigung kleinerer Korrekturen werden die Lotrichtungsparameter und Lotabweichungen im ITRS bereitgestellt.

Ein besonderes Augenmerk wird in der Dissertation auf die Identifizierung und Beherrschung der wirksamen Fehlerquellen gerichtet. Für die Kalibrierung des Zenitkamarasystems TZK2-D wurden neue Kalibrierverfahren entwickelt bzw. verfeinert. Neben der Laborkalibrierung des elektronischen Verschlusses und der Kalibrierung des azimutabhängigen Restfehlers soll die zälestische Kalibrierung hervorgehoben werden. Dieses neuartige Verfahren erlaubt die umfassende und hochgenaue in-situ Kalibrierung der elektronischen Neigungssensoren (Maßstabsfaktoren, Achsscherung und Orientierung gegenüber der CCD-Kamera) durch Nutzung des hochgenauen Bezugssystems ICRS.

Nach Anwendung dieser Kalibrierverfahren können Lotabweichungen mit einer inneren Genauigkeit von besser als 0.1 Bogensekunden gemessen werden. Die äußere Genauigkeit beträgt 0.10 bis 0.15 Bogensekunden und wurde durch umfangreiche Vergleichs- und Wiederholungsmessungen auf unterschiedlichen Referenzstationen – u.a. auf dem Standort des ehemaligen Photozenitrohres in Hamburg – ermittelt. Die hochredundante Lotabweichungsbestimmung auf einer Station nimmt etwa 30 bis 45 min in Anspruch und

umfasst die notwendigen Rüst-, Mess- und Auswertezeiten für etwa 60 Einzellösungen. Damit ist das digitale Zenitkamarasystem TZK2-D für die hochpräzise und wirtschaftliche Bestimmung von Lotabweichungen geeignet. Im Vergleich zu früheren Lotabweichungsbestimmungen mit konventionellen, photographischen Zenitkameras konnte in der Erprobungsphase mit dem digitalen Messsystem eine Genauigkeitssteigerung um den Faktor 3 bis 5 erzielt werden.

Das digitale Zenitkamarasystem TZK2-D wurde in den Jahren 2003 und 2004 in mehreren Feldkampagnen in Norddeutschland und der Schweiz zur hochgenauen Lotabweichungsmessung eingesetzt. Auf 87 Stationen konnten über 120 Abendwerte für die Lotabweichungen bestimmt werden. Die Hauptanwendungen für astrogeodätische Lotabweichungsbestimmungen mit der TZK2-D liegen in der lokalen und regionalen Schwerefeldbestimmung. Exemplarisch werden die regionale Verdichtung des Lotabweichungsfeldes in den Schweizer Alpen und eine lokale hochauflösende Schwerefeldbestimmung über einem Störkörper durch Anwendung des astronomischen Nivellements vorgestellt. Die Erprobungsphase hat gezeigt, dass die TZK2-D für die Bestimmung von 10 und mehr Lotabweichungsstationen pro Nacht eingesetzt werden kann.

Weitere Einsatzmöglichkeiten für das System TZK2-D bestehen in der hochauflösenden lokalen astrogeodätischen Validierung verfügbarer Geoidmodelle, in der Schwerefeldbestimmung in lokal begrenzten Gebieten und in geodätisch unerschlossenen Regionen sowie in der hochauflösenden Erfassung der Feinstruktur des Schwerefeldes für Anwendungen in der Geophysik und im Anlagenbau.