

Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und
Landmanagement

Band: 110 (2012)

Heft: 11

Artikel: Swisstopo Flugzeuge vermessen, ein eher aussergewöhnlicher Auftrag

Autor: Ray, Jérôme / Kistler, Matthias / Schittli, Robin

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-309319>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 06.03.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Swisstopo Flugzeuge vermessen, ein eher aussergewöhnlicher Auftrag

Anfangs Jahr gelangte der Flugdienst des Bundesamtes für Landestopografie swisstopo mit einem besonderen Anliegen an seine Kollegen der Geodäsie: an den zwei für die Aufnahme von digitalen Luftbildern eingesetzten Flugzeugen sollten Messungen durchgeführt werden. Konkret ging es darum, für jedes Flugzeug den dreidimensionalen Vektor zwischen der GNSS-Antenne auf dem Dach und der kreiselstabilisierten Sensoraufhängung im Inneren des Flugzeugs zu bestimmen, damit die genaue Position jedes Bildes bei der Aerotriangulation ermittelt werden kann. In kurzer Zeit mussten ein Konzept erarbeitet und die Messungen durchgeführt werden. Eine klassische Totalstation mit einer «kreativen» Materialisierung ermöglichte, die nötige Genauigkeit zu erreichen, ohne dass das Vorhaben zu teuer und der Bedarf an spezifischem Material für den einmaligen Auftrag zu gross wurde. Ein Horizontierungsproblem bei der Sensoraufhängung hat die swisstopo dazu gezwungen, in ihrem «Softwarearchiv» nachzuforschen, um die Berechnungen in 3D und nicht wie üblich in 2D+1 durchzuführen.

J. Ray, M. Kistler, R. Schittli

Das Bundesamt für Landestopografie swisstopo ist mit der Produktion von Luftbildern beauftragt, die unter anderem für die Nachführung der Schweizer Landeskarten bestimmt sind. Für diesen Zweck besitzt sie zwei Militärflugzeuge, welche mit digitalen Sensoren der neuesten Generation ausgestattet sind. Sie erlauben die Erfassung von qualitativ hochstehenden Bildern in verschiedenen Spektralbändern.

Diese digitalen Sensoren nutzen die GNSS¹-Technologie, was ermöglicht, deren Position und die der erfassten Bilder zu bestimmen. Die GNSS-Antenne kann nicht direkt auf dem digitalen Sensor platziert werden, weil dort die Sichtbarkeit zu den Satelliten fehlt. Sie wird demzufolge auf dem Flugzeughangar montiert. Dies hat eine Abweichung zwischen dem digitalen Sensor und der satellitenbestimmten Position zur Folge.

Die Konstanten des Vektors zwischen dem Phasenzentrum der GNSS-Antenne auf dem Flugzeughangar und dem Zentrum der kreiselstabilisierten Kameraaufhän-

gung (PAV30 oder Sockel des digitalen Sensors) müssen bestimmt werden. Diese Werte sind nötig, denn die vom Flugzeug erfassten Bilder haben als Zentrum jenes des digitalen Sensors, währenddem die Position des Flugzeugs durch die GNSS-Antenne bestimmt wird. Die Kenntnis des Vektors zwischen diesen zwei Elementen ermöglicht bei der fotogrammetrischen Entzerrung die Position jedes Bildes zu berechnen.

Dieser Artikel zeigt die Problematik der Bestimmung der Konstanten des neuen Differenzvektors nach der Installation der neuen GNSS-Antennen. Die Einmessung wurde infolge der Reparatur eines der Flugzeuge ebenfalls für die Kontrolle der aktuellen Werte benötigt. Die neuen Komponenten dieser Vektoren müssen im lokalen Koordinatensystem des Flugzeugs mit einem Wert von genauer als 2 cm bekannt sein.

Messungen

Ein Zweierteam hat die Messungen auf dem Militärflugplatz Dübendorf ZH durchgeführt. Da die zwei Flugzeuge in zwei verschiedenen Hangars standen,

wurden sie separat vermessen. Die Dauer war auf einen Tag pro Flugzeug limitiert, denn sie werden für die Ausbildung der Militärpiloten und den Transport von Persönlichkeiten verwendet. Ihre Standzeit am Boden ist somit sehr beschränkt. Die erarbeitete Messlösung beruht auf der Installation von Reflektoren oberhalb des GNSS-Antennenzentrums und des Zentrums des PAV30 sowie der Materialisierung der Achsen des lokalen Koordinatensystems mit kleinen Holzblöcken (Abb. 2 und 3). Diese Blöcke werden mit einem Laserdistanzmesser vermessen. Eine Materialisierung durch spezifisches Material, wie zum Beispiel in der Industrievermessung, wäre eleganter aber einiges teurer. Ein Präzisionsprisma ist über dem Zentrum des PAV30 platziert. Die Distanzen zwischen dem Zentrum (Z; Abb. 3) und den Punkten auf den Achsen (Punkt 1 bis 4; Abb. 3) werden mit einem Massstab eingemessen. Die Bestimmung der Distanzen zwischen den Punkten erlaubt, die Koordinaten der Achsen in der Ausgleichsrechnung als fix anzunehmen.

Die GNSS-Antenne ist durch ein Präzisionsprisma über ihrem Zentrum materialisiert. Da das Phasenzentrum genau im Zentrum der Antenne liegt, wird das Prisma ebenfalls über dem Zentrum der Antenne (Abb. 4) platziert.

Die Punkte werden durch eine vollautomatische Totalstation (Abb. 5) von zwei Standorten aus vermessen. Die Stationen sind so definiert, dass von beiden aus alle Punkte über dem PAV30, das Prisma über der GNSS-Antenne sowie die anderen Stationen gegenseitig beobachtet werden können.

Ein Materialisieren der Stationen am Boden ist nicht nötig, einzig ihre Stabilität muss während der Zeit der Messung gewährleistet sein; die Zwangszentrierung wird eingesetzt.

Berechnung und Resultate

Die Erfassung und Aufbereitung der Mess-Serien wurde mit einer intern entwickelten Software, welche auf einem Feld-PC läuft, gemacht. Die durchschnittlichen Resultate sind die folgenden:

Mittlerer ausgeglichener Fehler der Horizontalwinkel:	3.0 cc
Mittlerer ausgeglichener Fehler der Vertikalwinkel:	5.0 cc
Mittlerer ausgeglichener Fehler der Distanzen:	0.1 mm

Die Berechnung der Positionen der Punkte wurde zuerst mit der Ausgleichssoftware LTOP von swisstopo gemacht. Die Näherungs-Koordinaten wurden aufgrund der Messungen zwischen dem Zentrum des PAV30 und den Punkten auf den Achsen des lokalen Koordinatensystems bestimmt; die Koordinaten der variablen Punkte durch Iteration.

Die ersten Berechnungen haben aufgezeigt, dass der PAV30, respektive das Flugzeug zum Zeitpunkt der Messungen nicht perfekt horizontal war. Dementsprechend wurde eine zusätzliche Etappe nötig, um die gesuchten Konstanten zu bestimmen. Der Horizontierungsfehler hat zur Folge, dass die erhaltenen Werte x, y und z nicht ganz im Koordinatensystem des PAV30 sind. Es muss also eine Helmert-3D-Transformation durchgeführt werden, um die Resultate im gewünschten Koordinatensystem, mit einem fixen Massstabs-Faktor ($\lambda = 1$) ohne eine Veränderung der reellen Distanz zwischen dem Zentrum des PAV30 und der GNSS-Antenne zu erhalten.

Die Kontrollen haben gezeigt, dass die Resultate sehr nahe an den alten Werten liegen und dass keine grossen Veränderungen auf dem ersten Flugzeug feststellbar sind. Auf dem zweiten Flugzeug, welches

eine Reparatur erfahren hat, wurden aber bei x, y und z Differenzen von 8, 1 und 6 Zentimeter festgestellt. Dies hat die Notwendigkeit der Messungen bestätigt.

Ideale Lösung

Die gewählte Lösung für die Bestimmung der neuen Konstanten der zwei Flugzeuge genügt den gestellten Anforderungen. Dennoch kann eine andere elegantere Lösung ausgearbeitet werden, welche eine höhere Genauigkeit erlaubt.

Die aktuelle Lösung hat zwei Schwächen:

- Die approximative Materialisierung der Punkte auf den lokalen Koordinatenachsen mittels Holzblöcken.
- Der Horizontierungsfehler des PAV30. Dieser Mangel wurde mit einer 3D-Helmert-Transformation korrigiert.

Eine Lösung ohne diese Mängel hat den Vorteil, die Anzahl der Berechnungsetappen zu reduzieren und die Genauigkeit zu erhöhen. Es geht darum, reflektierende Zielmarken auf den magnetischen Sockeln für die Materialisierung der Punkte auf den lokalen Koordinatenachsen zu verwenden. Diese Materialisierungsart erlaubt die Erhöhung der Distanz Messgenauigkeit und eine rasche Installation.

Der zweite Punkt, welcher verbessert werden kann, ist die Horizontierung des PAV30. Wenn sich dieser perfekt in der Horizontalen befindet, können die neuen Konstanten direkt mit der LTOP Berechnung, ohne Umweg über die 3D Transformation, bestimmt werden. Da der PAV30 mit dem Flugzeug eine Einheit bil-

det, muss noch eine Lösung für die perfekte Horizontierung gefunden werden.

Anmerkungen:

- ¹ Global Navigation Satellite System, welches die Positionsbestimmung über die Satellitenkonstellationen GPS und GLONASS erlaubt.

Jérôme Ray und Matthias Kistler
 Bundesamt für Landestopografie
 swisstopo
 Seftigenstrasse 264
 CH-3084 Wabern
 infogeo@swisstopo.ch

Robin Schittli
 Route de la Frasse 38
 CH-1658 Rossinière
 robin.schittli@gmail.com

Quelle: FGS Redaktion

