

# Kalibrierung von Oblique und UAV Kameras

ERWIN J. KRUCK<sup>1</sup> & BALÁZS MÉLYKUTI<sup>2</sup>

*Oblique Kalibrierungen haben wegen der nicht vertikalen Blickwinkel andere geometrische Voraussetzungen als Standard-Befliegungen. Bei UAV-Projekten ohne stabilisierte Plattform kommen diese Voraussetzungen regelmäßig vor.*

*Eine neue geometrische Aufstellung der Bilder in den Projekten ermöglicht es, die bestehenden Kalibrierungs-Methoden zu erweitern, um bessere Ergebnisse zu erzielen. Dies gilt insbesondere für die Kalibrierung von Mittel- und Kleinformat-Kameras bei denen die Kalibrierung eine noch wichtigere Rolle spielt. Eine effiziente Kalibrierungs-Methode für Oblique und UAV Kameras wird aufgezeigt.*

## 1 Einleitung

Großformatige kommerzielle Luftbildkameras für Vermessungszwecke sind regelmäßig in speziellen Einrichtungen zu kalibrieren. Diese Anforderung gilt nur selten für den Einsatz von semi-metrischen oder gar nicht-metrischen Kameras, auch wenn sie für geometrische Auswertungen eingesetzt werden sollen. Solche Einsätze können für Schrägaufnahmen sinnvoll sein, insbesondere auch, wenn die Plattform ein UAV ist und wenn es um kleine Objekte geht. Anforderungen aus dem Markt nach mehr Informationen über kleine Objekte, bessere Abdeckung für 3D Modelle und Kosteneffizienz nehmen deutlich zu. Um auch mit einfachen Mitteln gute geometrische Ergebnisse zu erzielen, ist eine simple, robuste Kalibrierung für Oblique- und UAV-Kameras zunehmend gefragt.

UAV und Oblique Anwendungen und deren Kamerasysteme unterscheidet sich in Eigenschaften und Geometrie von den allgemeinen photogrammetrischen Luftbild-Anwendungen. Diese anderen geometrischen Parameter machen es erforderlich neue Methoden und Parameter für die Kalibrierung zu nutzen um damit mehr Stabilität und Genauigkeit für solche Projekte zu erzielen. Theorie und Praxis von solchen Kalibrier-Methoden werden vorgestellt und getestet.

## 2 Problemstellung

Grundlegende Unterschiede von den Oblique- und UAV-Systemen zu den allgemeinen photogrammetrischen Lösungen sind die:

- Kamera Positionierung,
- Blickrichtung, Winkeln zu der Vertikalen,
- fehlende oder vereinfachte stabilisierte Kamera-Plattform,
- empfindliche und weniger stabile Flugführung.

Alle diese Faktoren oder Kombinationen daraus erfordern neuen Verfahren für eine Simultan-Kalibrierung bei solchen Projekten. Selbstverständlich unterscheiden sich UAV- und Oblique-Projekte oft stark voneinander. Daher können hier nur prinzipielle Möglichkeiten aufgezeigt und an einem praktischen Projekt getestet werden.

1) Erwin J. Kruck, GIP, Dr. Kruck & Co. GbR, Platanenweg 24, 73430 Aalen; E-Mail: [e.k@gip-aalen.de](mailto:e.k@gip-aalen.de)

2) Balázs Mélykuti, GIP, Dr. Kruck & Co. GbR, Platanenweg 24, 73430 Aalen; E-Mail: [b.m@gip-aalen.de](mailto:b.m@gip-aalen.de)

## 2.1 Mathematische Voraussetzungen

Es wird angenommen dass für überlappende Bilder in einem UAV-Projekt die Aufnahmerichtungen und die Bild Drehungen unterschiedlich sind – also eventuell auch deutlich größere Winkel zueinander haben. Andererseits soll eine gute Kalibrierung auch für Schrägaufnahmen von einer stabilisierten Plattform mit gleichförmiger Bewegung möglich sein. Bei Oblique-Systemen werden die Aufnahmerichtungen eines Bildpaares aufgrund der schräg eingebauten Kameras oft einen Winkel von bis zu 90 Grad einschließen.

Typische Eigenschaften von UAV System sind:

- nicht stabilisierte, nicht kalibrierte Kamera,
- leichtere, empfindliche Tragsysteme,
- schräg eingebaute Kamera,
- bei Wenden oder Windböen schaukelndes Flugobjekt.

In den untersuchten Projekten hat es bis zu ca. 10-15 Grad Abweichungen von der Falllinie gegeben.

Unter Ausnutzung dieser Neigungen kann laut unserer theoretischen Annahme auch über ebenem Gelände die Kamerakonstante (und eventuell der Hauptpunkt) fest bestimmt und kalibriert werden.

## 2.2 Simulierter Projektaufbau

Eine entsprechende Geometrie wurde in einer Simulation aufgestellt und die Kameradaten zusammengestellt. Ein theoretisches Testprojekt wurde aufgebaut wo die Winkel zur Falllinie zunächst 12,5 Grad bilden. Bei gegeneinander gerichteten Fluglinien bilden einzelne Modelle so einen Winkel von 25 Grad zueinander. Hier in der Simulation wurde eine völlig ebene Fläche mit  $7 \times 9 = 63$  gleichmäßig verteilten Punkten definiert. Die vier Eckpunkte sind als Passpunkte

angegeben; Brennweite und Hauptpunkt Lage als freie Unbekannte definiert (Abb. 1).

Mit diesen Eingangsdaten wurde mit der BINGO Bündelausgleichung eine Simulationsrechnung ausgeführt. Dabei wird nur das Layout ohne konkrete Messwerte prozessiert. Nur wenn die gewählte geometrische Anordnung für die Kalibrierung angemessen ist, wird das Gleichungssystem(1) ein Endergebnis liefern, ansonsten müssten Brennweite und Hauptpunkt Lage als nicht bestimmbar angegeben werden.

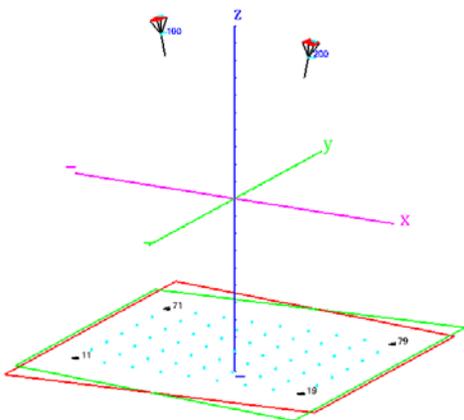


Abb. 1: Layout der Oblique-Simulation

$$\text{Normalgleichung: } \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} \quad (1)$$

Um dies zu überprüfen, wurden in einer zweiten Simulation bei ansonsten gleicher Anordnung streng lotrechte Aufnahmen vorgegeben (Abb. 2).

Bei einer solchen Konfiguration sind Kamerakonstante und Flughöhe einerseits sowie Hauptpunktlage und Lage des Projektionszentrums andererseits untereinander mit 1.0 korreliert.

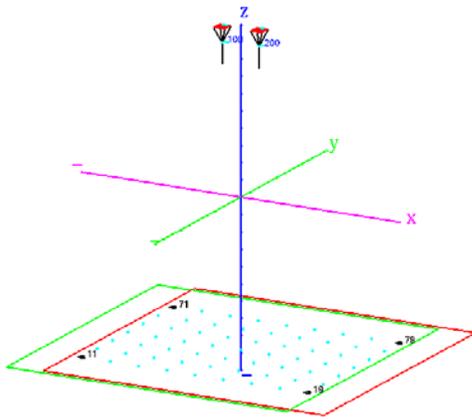


Abb. 2: Streng lotrechte Aufnahmen

Wie nicht anders zu erwarten, wurden Kammerkonstante und Hauptpunktlage als nicht bestimmbar (Rangdefekte im Gleichungssystem) ausgewiesen.

Zwei weitere Simulationsrechnungen zeigen, dass weitere Aufnahmeanordnungen mit parallelen Aufnahmerichtungen und ebenem Gelände prinzipiell eine Kamerakalibrierung erlauben.

Wiederum wurden nur die Orientierungsdaten der Aufnahmen (Koordinaten und Winkel) verändert (Abb. 3 + 4). Die Simulationsrechnung zeigt, dass auch bei diesen beiden Anordnungen die Kammerkonstante bestimmt werden kann. Bei der Hauptpunktlage war allerdings nur die y'-Komponente bestimmbar; für die x'-Komponente traten Rangdefekte auf.

Um auch die x'-Komponente bestimmen zu können müsste eine gedrehte Aufnahme hinzukommen.

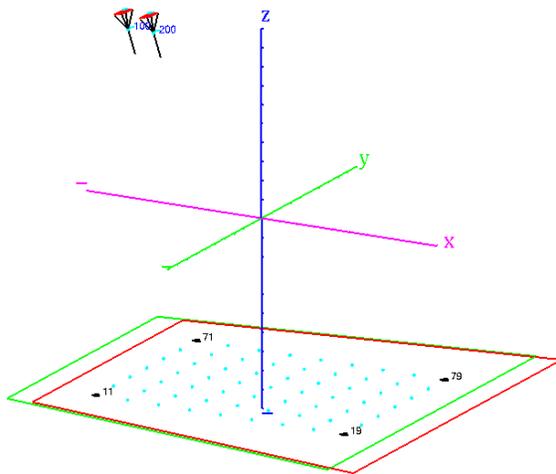


Abb. 3: Parallele Schrägaufnahmen in Flugrichtung

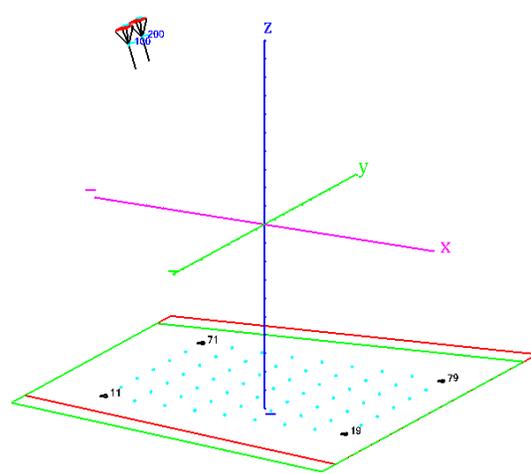


Abb. 4: Parallele Schrägaufnahmen quer zur Flugrichtung

Man darf zwar bei diesen Anordnungen – insbesondere mit nur zwei Bildern – keine Genauigkeiten erwarten. Es geht hier nur darum, prinzipielle Möglichkeiten aufzuzeigen. In der Praxis sind weitere Parameter wie Brennweite, Bildformat, Geländegestaltung usw. zu beachten.

### 3 Ergebnisse aus der Praxis

Die gewonnenen Einsichten wurden an einem praktischen Projekt getestet. Eine ganz ähnliche Situation wie bei unserer Simulation: eine Oblique-Befliegung über ein ganz ebenes Gebiet; zwei gegeneinander geflogene Linien mit ca. 90 Grad zwischen den Blickwinkeln. Flughöhe ca. 500m, Kamera Nikon EOS 5D mkII mit 45 Grad Neigung nach vorne schauend eingebaut.

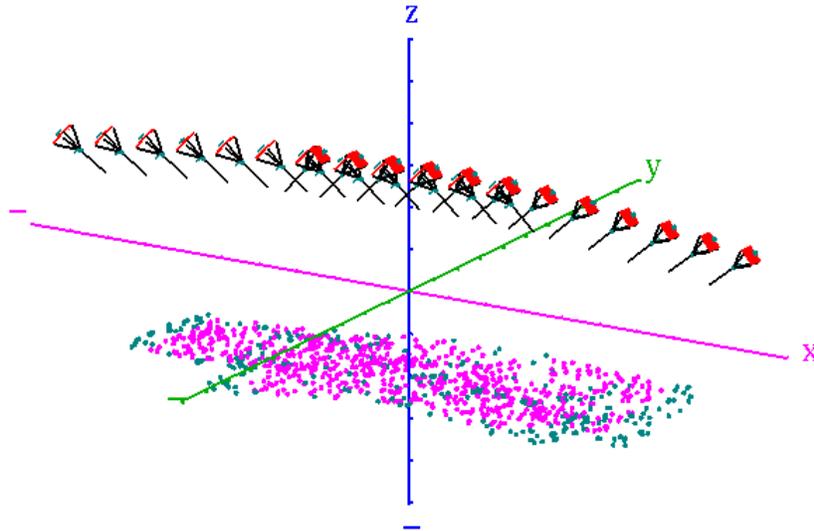


Abb. 5: 3D-Ansicht des praktischen Oblique-Projektes

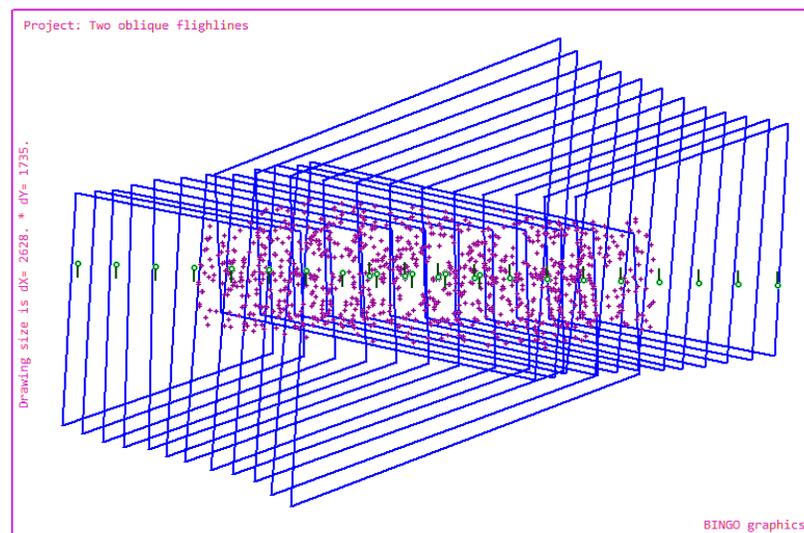


Abb. 6: Layout des praktischen Oblique-Projektes

Es wurden die gleichen Parameter für BINGO eingestellt wie in der Simulation. Die Ergebnisse in der Praxis haben gezeigt, dass die freigegebene Kamerakonstante trotz des nahezu ebenen Geländes und der großen Flughöhe von 500m stabil bestimmt werden kann. Natürlich ist die

Genauigkeit bescheiden. Für die Hauptpunktlage gilt das in Kapitel 2 gesagte: Eine Bestimmung für  $x'$  ist nicht möglich.

## **4 Einsatzmöglichkeiten**

Die hier gezeigten Möglichkeiten sind natürlich nicht für den praktischen Einsatz von Kamerakalibrierungen empfohlen. Sie bieten jedoch eine Chance der Kalibrierung, wenn andere genauere Varianten aus technischen Gründen bei praktischen Projekten nicht möglich sind.

Zusätzlich wird empfohlen, gedrehte Aufnahmen hinzuzufügen, um auch die Hauptpunktlage mit zu bestimmen oder wenigstens zu überprüfen.

Grundsätzlich gilt natürlich auch, dass eine möglichst große Anzahl von Bildern für eine zuverlässige Bestimmung der inneren Orientierung erforderlich ist.

## **5 Zusammenfassung der Ergebnisse**

Die Ergebnisse von Simulation und Praxis haben gezeigt, dass eine Kammerkonstante auch bei ebenen Flächen stabil bestimmt und kalibriert werden kann, wenn zwischen den Achsen mindestens eine Neigung von 25 Grad besteht.

Bei Schrägaufnahmen über ebenem Gelände kann dies eine sehr hilfreiche Methode sein, insbesondere wenn keine verlässlichen Kameradaten vorliegen.

## **6 Literaturverzeichnis**

KRUCK, E. & MELYKUTI, B., 2010: Developments and Challenges in Bundle Triangulation. ASPRS Annual Conference, San Diego, CA, USA

KRUCK, E., 2006: Simultaneous Calibration of Digital Aerial Survey Cameras. EuroSDR Camera Calibration Workshop, Castelldefels, Spain