

**Studiengang Geodäsie & Geoinformatik B.Sc.**  
**LV Photogrammetrie** (Wintersemester 2019/2020)

**Übung 1 – Analytische Auswertung eines Luftbildes und Räumlicher Rückwärtsschnitt**  
Abgabetermin: 10. Januar 2020

Im Rahmen einer Evaluierung verschiedener digitaler Luftbildkamerasysteme wurden im Jahr 2008 mehrere Bildflüge im Testgebiet Vaihingen/Enz durchgeführt. In dieser Übung werden die Digitalbilder des Kamerasystems DMC I der Firma ZI Imaging (heute Hexagon Geosystems) verwendet. Aufgrund der realisierten Flughöhe über Grund von 2160m beträgt die Bodenauflösung (Ground Sampling Distance GSD) ca. 20cm (Pixelgröße im Bild 12µm, Kamerakonstante 120mm). Bei den Bildern handelt es sich um die sogenannten großformatigen virtuellen Bilder, die aus 4 kleineren PAN-Teilbildern zusammengesetzt sind und die Farbinformation durch ein Pan-Sharpening erhalten. In diesen Bildern ist die Verzeichnung bereits korrigiert, die Größe beträgt 13824 x 7680 pix<sup>2</sup>. Insgesamt stehen für diese Übung 30 Bilder aus 3 Längsstreifen mit jeweils 10 Bildern zu Verfügung, die Überdeckungen betragen in Quer- und Längsrichtung ca. 60%. Die genaue Konfiguration des Bildverbands und Details zu Passpunkten sind der Datei `vaihingen_2008.pdf` zu entnehmen.

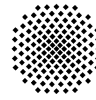
Als Vorbereitung für die Berechnung der äußeren Orientierung eines einzelnen Bildes sind zunächst die Bildkoordinaten der signalisierten Pass- und Neupunkte aus Messungen zu bestimmen. Die dafür benötigte innere Orientierung ist für die virtuellen Bilder der DMC Kameras immer bekannt und kann daher bei der Auswertung direkt vorgegeben werden.

Mit der im Programm `inpho` / `ApplicationsMaster` ausgegebenen Projektdatei kann nun im Anschluss der räumliche Rückwärtsschnitt implementiert werden.

**Teil 1: Messung Bildkoordinaten und Räumlicher Rückwärtsschnitt mit dem Programmpaket ApplicationsMaster**

Die Bildpunktmessung wird mit dem Programm `ApplicationsMaster` vorgenommen. Es steht Ihnen im CIP-Pool zur Verfügung, die zugehörigen digitalen Bilddaten befinden sich in dem CIP-Pool-Verzeichnis `Z:\users\uebungen\photoBSC\vaihingen2008\images\`. Über die Bildnummer ist ein eindeutiger Zugriff auf die Bilder möglich. In den Verzeichnissen `\kamera`, `\pp_punkte` stehen weitere Daten, die für diese Übung notwendig sind. Der genaue Ablauf der Messung (inkl. Projektdefinition) mit der Software `inpho` / `ApplicationsMaster` ist im Dokument `ApplicationsMaster.pdf` beschrieben.

Messen Sie **mindestens 12** der in dem Bild sichtbaren signalisierten Punkte in guter Verteilung!



## Teil 2: Überprüfung der inneren Orientierung der digitalen Kamera

Die Messung in den digitalen Bildern erfolgt natürlich im Pixelkoordinatensystem, durch die zuvor definierte innere Orientierung der Kamera kann diese Messung dann in die Bildkoordinaten überführt werden. Die entsprechenden Transformationsparameter finden sich in der Projektdatei \*.prj von ApplicationsMaster – hier ist eine 4 Parameter Transformation (klassische Helmertransformations) zugrunde gelegt.

$$\begin{bmatrix} c \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u & 0 \\ 0 & u \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta \\ -\sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix}$$

Es steht dabei r/c für row/col (Pixelkoordinaten) der Bildpunkte, x,y für die Bildkoordinaten in metrischer Größe, u für den Maßstab,  $\beta$  für den Drehwinkel und  $t_1$  bzw.  $t_2$  für die Translationen. Interpretieren Sie auf Basis dieser Formel die in der Projektdatei \*.prj aufgeführte Transformation! Skizzieren Sie in diesem Zusammenhang auch die verwendeten Koordinatensysteme.

## Teil 3: Räumlicher Rückwärtsschnitt RRS

### Teil 3a: RRS mit der Software Applications Master

Im ersten Teil dieser Übung sind die Parameter der äußeren Orientierung über das Modul „Exterior Orientation“ zu ermitteln. Verwenden Sie alle Passpunkte (mindestens 12, siehe Fall A unten). Die geschätzten Orientierungsparameter sind in der Ausarbeitung zu dokumentieren (tabellarisch). Die Residuen im Bildraum können auch im Luftbild angezeigt werden. Diese sollen auch in der Ausarbeitung dokumentiert werden, dabei ist der Maßstab so zu wählen, dass die Pfeile gut zu erkennen sind. Interpretieren Sie die Ergebnisse!

### Teil 3b: RRS mit eigener Implementierung

Unter Verwendung der **Pixel**koordinaten aus der Projektdatei \*.prj vom ApplicationsMaster, ist ein räumlicher Rückwärtsschnitt durchzuführen. Dieser ist von Ihnen zu implementieren, die Formeln sind im Anhang gegeben. Die eigentlich notwendigen Korrekturen von Refraktion und Erdkrümmung sind in dieser Übung zu vernachlässigen. Verwenden Sie die UTM – Koordinaten der Passpunkte Ihres Bildes. Für die Parameter der inneren Orientierung ist die Definition der Kamera, wie sie im ApplicationsMaster gegeben ist, anzunehmen. Beachten Sie die Transformation von Pixel- in Bildkoordinaten. Gehen Sie bei der Umsetzung folgendermaßen vor:

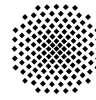
#### Näherungswerte

Die Näherungswerte für die Orientierungsparameter sind alternativ über eine ebene Helmertransformations zu berechnen (Formeln im Anhang), oder Sie verwenden die entsprechenden Werte aus den GNSS/inertial-Messungen!

#### Implementierung Rückwärtsschnitt

Die dafür benötigten Formeln sind im Anhang gegeben.

Mit den gegebenen Vollpasspunkten ist ein RRS durchzuführen. Die beobachteten **Bild**koordinaten (aus der Transformation der Pixelkoordinaten) sind unkorreliert und gleich genau. In der Parameterschätzung nach Gauß-Markoff ist so lange zu iterieren, bis die Zuschläge für die Projektionszentrumskoordinaten kleiner als 1 mm sind. Erfahrungsgemäß sind 3 Iterationen nötig. Achtung: Werden mehr Iterationsschritte benötigt, ist ein grober Fehler zu vermuten! Dieser Fehler kann entweder bei der Programmierung oder schon bei der Bildpunktmessung aufgetreten sein. *Anm.:* Grobe Fehler in der Bildpunktmessung oder Punktnummernverwechslungen im Teil 1 sind praktisch ausgeschlossen, wenn die angezeigten Residuen entsprechend klein sind.



### Genauigkeit RRS

Mit den Bildkoordinaten ist ein RRS für drei verschiedene Konfigurationen zu berechnen:

- Alle (mindestens 12, siehe oben) im Bild beobachtete Punkte als Passpunkte (**Fall A**).
- 4 Passpunkte in den Bildecken (**Fall B**).
- 4 Passpunkte, die aber sehr dicht zusammen in einem Bildbereich liegen (**Fall C**).

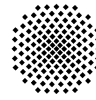
Analysieren und interpretieren Sie zunächst die Verbesserungen der Beobachtungen für die Fälle A-C.

Welchen Einfluss haben die unterschiedlichen Passpunktanordnungen auf die geschätzten Orientierungsparameter (Fall A, B, C)? Die Unterschiede in den geschätzten Orientierungselementen sind anzugeben und zu interpretieren. Die Parameter der äußeren Orientierung aus Fall A dienen dabei als Referenz.

Die Genauigkeiten der geschätzten Unbekannten sind durch Inversion der Normalgleichungsmatrix für alle drei Fälle A-C zu bestimmen. Wie verhalten sich die Genauigkeiten  $\sigma_{x_0}$ ,  $\sigma_{y_0}$ ,  $\sigma_{z_0}$ , bzw.  $\sigma_\omega$ ,  $\sigma_\phi$ ,  $\sigma_\kappa$  untereinander? Vergleichen Sie anschließend die Genauigkeiten der drei verschiedenen Fälle? Wie beeinflusst die Wahl der Passpunkte die Genauigkeit der Orientierungsparameter? Welche Passpunktanordnung ist Ihrer Meinung nach zu bevorzugen?

### Vergleich RRS Ergebnisse Applications Master mit eigener Implementierung

Vergleichen Sie die ihre Ergebnisse mit denen aus Teil 3a (nur Fall A mit allen Punkten als Passpunkte). Treten Differenzen zwischen den geschätzten Projektionszentrumskoordinaten, Orientierungswinkeln und Verbesserungen auf und wenn ja warum? Können die Winkel direkt verglichen werden? Falls nein, stellen Sie die Vergleichbarkeit der Orientierungswinkel her.



## Anlage zur Übung: Räumlicher Rückwärtsschnitt

### Bestimmung der Näherungswerte für den RRS

ebene Helmerttransformation, gesuchte Parameter:  $X_0, Y_0, Z_0, \kappa, M$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} &= M \cdot \begin{bmatrix} \cos \kappa & \sin \kappa \\ -\sin \kappa & \cos \kappa \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -M \cdot \cos \kappa \cdot X_0 - M \cdot \sin \kappa \cdot Y_0 \\ M \cdot \sin \kappa \cdot X_0 - M \cdot \cos \kappa \cdot Y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M \cdot \cos \kappa \cdot X + M \cdot \sin \kappa \cdot Y \\ -M \cdot \sin \kappa \cdot X + M \cdot \cos \kappa \cdot Y \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C \cdot X + D \cdot Y \\ -D \cdot X + C \cdot Y \end{bmatrix} \end{aligned}$$

– Linearisieren (Ableitung nach den unbekannten Parametern) führt zur Designmatrix  $\underline{A}$ :

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & X & Y \\ 0 & 1 & Y & -X \end{bmatrix}$$

mit Unbekanntenvektor

$$\underline{x}^T = [A \quad B \quad C \quad D]$$

$$\kappa = \arctan \frac{D}{C}, \quad M = \sqrt{C^2 + D^2},$$

$$X_0 = \frac{B \cdot \sin \kappa - A \cdot \cos \kappa}{M}, \quad Y_0 = -\frac{A \cdot \sin \kappa + B \cdot \cos \kappa}{M}, \quad Z_0 = \frac{c_k}{M} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i$$

Durch Ausgleichung erhält man die Werte für A, B, C und D, die dann zu den gesuchten Näherungswerten für Translation, Rotation und Maßstab führen:

### Berechnung des RRS durch Parameterschätzung nach Gauß-Markoff (vermittelnde Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate)

nichtlinearer Fall:

$$\underline{dx} = (\underline{A}^T \cdot \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \cdot \underline{l} \text{ unter der Annahme } \underline{P} = \underline{I}$$

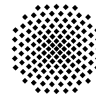
mit:  $\underline{x}_{i+1} = \underline{x}_i + \underline{dx}$

Iteration bis Auswerteschranke (Abbruchkriterium) erreicht!

**Abbildungsgleichungen:** Bild  $(x', y')$  - Gelände  $(X, Y, Z)$

mit:

$$\begin{aligned} x' &= x'_0 - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} = x'_0 - c \frac{Z_X}{N} \\ y' &= y'_0 - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} = y'_0 - c \frac{Z_Y}{N} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} r_{11} &= \cos \varphi \cos \kappa & r_{12} &= -\cos \varphi \sin \kappa & r_{13} &= \sin \varphi, \\ r_{21} &= \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa & r_{22} &= -\sin \omega \sin \varphi \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa & r_{23} &= -\sin \omega \cos \varphi, \\ r_{31} &= -\cos \omega \sin \varphi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa & r_{32} &= \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa & r_{33} &= \cos \omega \cos \varphi \end{aligned}$$

Differenziale für die Parameter der äußeren Orientierung ( $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$ ):

$$\frac{\partial x'}{\partial X_0} = -\frac{c}{N^2} (r_{13} Z_X - r_{11} N)$$

$$\frac{\partial x'}{\partial Y_0} = -\frac{c}{N^2} (r_{23} Z_X - r_{21} N)$$

$$\frac{\partial x'}{\partial Z_0} = -\frac{c}{N^2} (r_{33} Z_X - r_{31} N)$$

$$\frac{\partial x'}{\partial \omega} = -\frac{c}{N} \left\{ \left[ (Y - Y_0) r_{33} - (Z - Z_0) r_{23} \right] \frac{Z_X}{N} - (Y - Y_0) r_{31} + (Z - Z_0) r_{21} \right\}$$

$$\frac{\partial x'}{\partial \phi} = \frac{c}{N} \left[ (Z_X \cos \kappa - Z_Y \sin \kappa) \frac{Z_X}{N} + N \cos \kappa \right]$$

$$\frac{\partial x'}{\partial \kappa} = -\frac{c}{N} Z_Y$$

$$\frac{\partial y'}{\partial X_0} = -\frac{c}{N^2} (r_{13} Z_Y - r_{12} N)$$

$$\frac{\partial y'}{\partial Y_0} = -\frac{c}{N^2} (r_{23} Z_Y - r_{22} N)$$

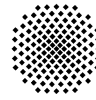
$$\frac{\partial y'}{\partial Z_0} = -\frac{c}{N^2} (r_{33} Z_Y - r_{32} N)$$

$$\frac{\partial y'}{\partial \omega} = -\frac{c}{N} \left\{ \left[ (Y - Y_0) r_{33} - (Z - Z_0) r_{23} \right] \frac{Z_Y}{N} - (Y - Y_0) r_{32} + (Z - Z_0) r_{22} \right\}$$

$$\frac{\partial y'}{\partial \phi} = \frac{c}{N} \left[ (Z_X \cos \kappa - Z_Y \sin \kappa) \frac{Z_Y}{N} - N \sin \kappa \right]$$

$$\frac{\partial y'}{\partial \kappa} = \frac{c}{N} Z_X$$

(Anmerkung: Die hier angegebene Form der Kollinearitätsgleichung entspricht der Darstellung in Lehrbuch K. Kraus: Photogrammetrie)



**Formeln zur Reduzierung der Bildkoordinaten** (hier nur zur Information gegeben)

r	Radialer Abstand vom Ursprung	mm
c	Kamerakonstante	mm
Z <sub>p</sub>	Mittlere Geländehöhe bzw. Punkthöhe	km
h <sub>g</sub>	Flughöhe ü.G.	km
R	Erdradius	km

**Erdkrümmungskorrektur:**

$$\delta_{Erd} = -\frac{r^3 \cdot h_g}{2 \cdot R \cdot c^2}$$

**Refraktionskorrektur:**

$$\delta_{ref} = r \cdot \left(1 + \frac{r^2}{c^2}\right) \cdot k$$

$$k = 0.00241 \cdot \left[ \left( \frac{Z_0}{Z_0^2 - 6Z_0 + 250} \right) - \left( \frac{Z_p^2}{Z_0(Z_p^2 - 6Z_p + 250)} \right) \right]$$

**Summe der Korrekturen komponentenweise an Bildkoordinaten anbringen:**

$$x_b' = x' - \frac{x'}{r} \sum \delta_i \quad y_b' = y' - \frac{y'}{r} \sum \delta_i$$

### Allgemeine Anmerkungen zur Übungsausarbeitung:

In der schriftlichen Ausarbeitung sind alle durchgeführten Arbeitsschritte (inkl. Skizzen, Screenshots u.ä.), zu dokumentieren und die Ergebnisse zu diskutieren!

Jede Gruppe (2 Personen) wertet die Daten des zugeteilten Bildes aus. **Eine** schriftliche Ausarbeitung pro Gruppe ist ausreichend. Werden von verschiedenen Gruppen offensichtlich identische Übungsausarbeitungen abgegeben, gilt nur die zuerst abgegebene Ausarbeitung als anerkannt.

Bitte die Ausarbeitung als PDF-Dokument (Email-Anhang) im ILIAS hochladen. Das Dokument bitte wie folgt benennen, z.B. NACHNAME1Vorname1+NACHNAME2Vorname2-Ü1-RRS.pdf. Ein Titel-/Deckblatt für jede Ausarbeitung ist sinnvoll.

Abgabetermin: **Freitag, 10. Januar 2020**