

# DGPF-Projekt

## „Evaluierung digitaler photo- grammetrischer Luftbildsysteme“

Ergänzungen zur geometrischen Untersuchung der RMK-Top15 und  
DigiCam quattro

Dr. R. Ladstädter\* & Dr. V. Kaufmann  
Technische Universität Graz  
Institut für Fernerkundung und Photogrammetrie

\*Alumnus seit Okt. 2008

# Inhalt

- Datensätze
- Bildmessungen
- Bündelausgleich (BA)
- BA-Varianten
- Ergebnisse
- (Vorläufige) Schlussfolgerungen

# Datensätze

## ▶ RMK-Top15 / Intergraph

- GSD 8cm
  - Farbnegativ / 14µm Scan / 8bit
  - 74 Bilder / 59 GCP / 56 CHP
- GSD 20cm
  - Farb-Infrarot / 14µm Scan / 8bit
  - 47 Bilder / 82 GCP / 67 CHP



## ▶ DigiCam-quattro / IGI

- GSD 8cm
  - 16bit RGB
  - 756 Bilder / 57 GCP / 56 CHP
- GSD 20cm 1
  - 16bit RGB
  - 168 Bilder / 104 GCP / 69 CHP

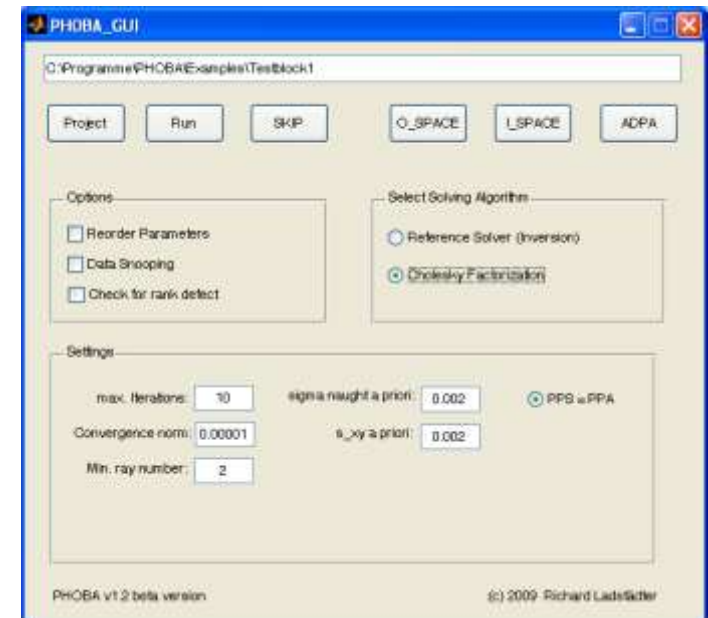


# Bildmessungen

- ▶ RMK: AAT (ISAT) erfolgreich (März 2009)
  - 140 Punkte/Bild (GSD 8cm)
  - 250 Punkte/Bild (GSD 20cm)
  
- ▶ DigiCam-quattro: AAT (ISAT) nicht erfolgreich
  - Manuelle TP-Messung (20cm GSD) präsentiert in Jena
  
- ▶ **Neu: Übernahme des Match-AT-Projekts (Jens Kremer)**
  - 500 Punkte/Bild (GSD 8cm) → ausgedünnt auf 100 Pkt./Bild
  - 460 Punkte/Bild (GSD 20cm)

# Bündelausgleich

- ▶ Bündelausgleich-Software PhoBA
  - „Photogrammetric Bundle Adjustment“
  - Entwicklung (2007–2009) am Institut für Fernerkundung & Photogrammetrie / TU Graz (R. Ladstädter)
  - Implementierung in MATLAB
  - Rechentechnik und Schnittstellen sind dem Vorbild BINGO nachempfunden
  - Aktuelle Version: 1.4



# Zusätzliche Parameter

- ▶ Parametersatz
  - Hauptpunkt  $x_0, y_0$
  - Kamerakonstante  $c$
  - Balancierte radiale Verzeichnung (Koeffizienten  $A_1, A_2$ )
  
- ▶ → Physikalisch begründbare Parameter (Subset von Brown)
  
- ▶ Keine GPS-Korrekturparameter ( $e$ , Datum-Offset, Shift, Drift)
  
- ▶ IMU-Winkeloffsets angesetzt (DigiCam)

# A priori Genauigkeiten

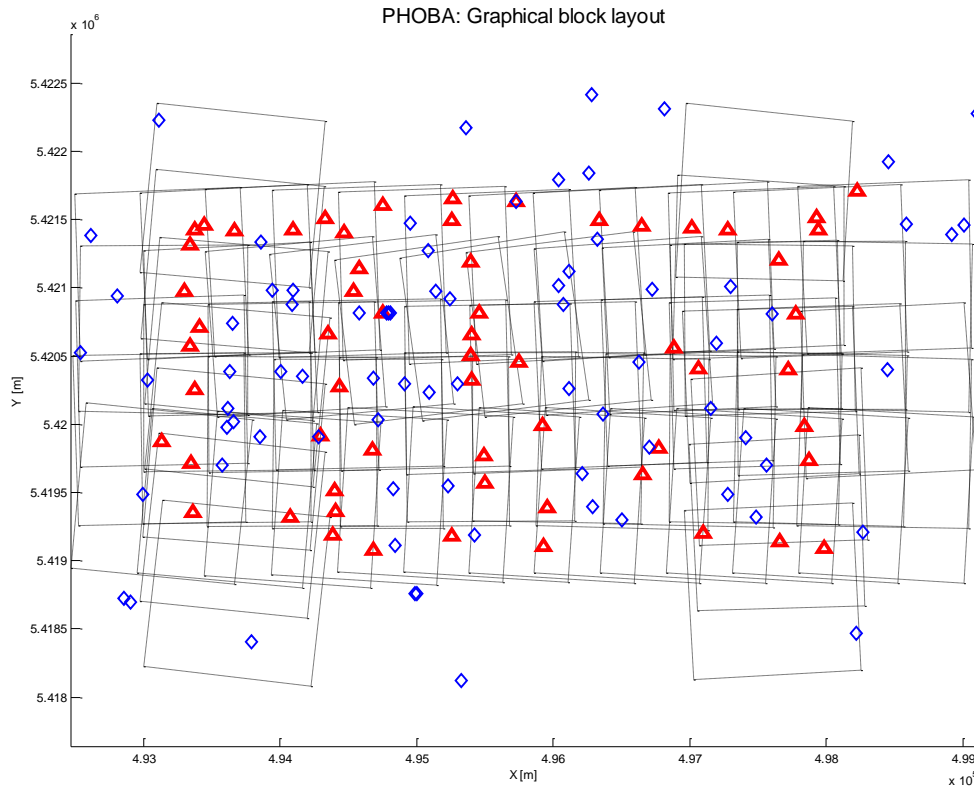
- ▶ **Bildmessung**
  - $\pm 5\mu\text{m}$  (RMK),  $\pm 2\mu\text{m}$  (DigiCam)
  
- ▶ **Passpunkte**
  - $\pm 2\text{cm}$  (Lage),  $\pm 3\text{cm}$  (Höhe)
  
- ▶ **GPS-Daten**
  - $\pm 10\text{cm}$  (Lage und Höhe)
  
- ▶ **IMU-Daten**
  - $\pm 1\text{mgon}$

# BA-Varianten

- ▶ Variante 1:
  - Volle Passpunktbesetzung
  - GPS/IMU-Daten integriert
- ▶ **Neu:** Variante 2:
  - Nur 5 Passpunkte (Blockecken + Blockmitte)
  - GPS/IMU-Daten integriert
- ▶ **Neu:** Variante 3:
  - Nur 5 Passpunkte (Blockecken + Blockmitte)
  - Keine GPS/IMU-Daten



# Ergebnisse / RMK 8cm / V1



Bundle Adjustment Statistics:  
9483 points measured in 74 photos (1 cameras)  
Number of skipped points: 409  
Number of object points: 2436  
Tiepoints: 2321  
Control points: 59  
Checkpoints: 56  
Number of GPS events used: 74  
Number of observations used: 19365  
Number of additional parameters used: 5  
Number of unknowns: 7757  
Redundancy: 11608

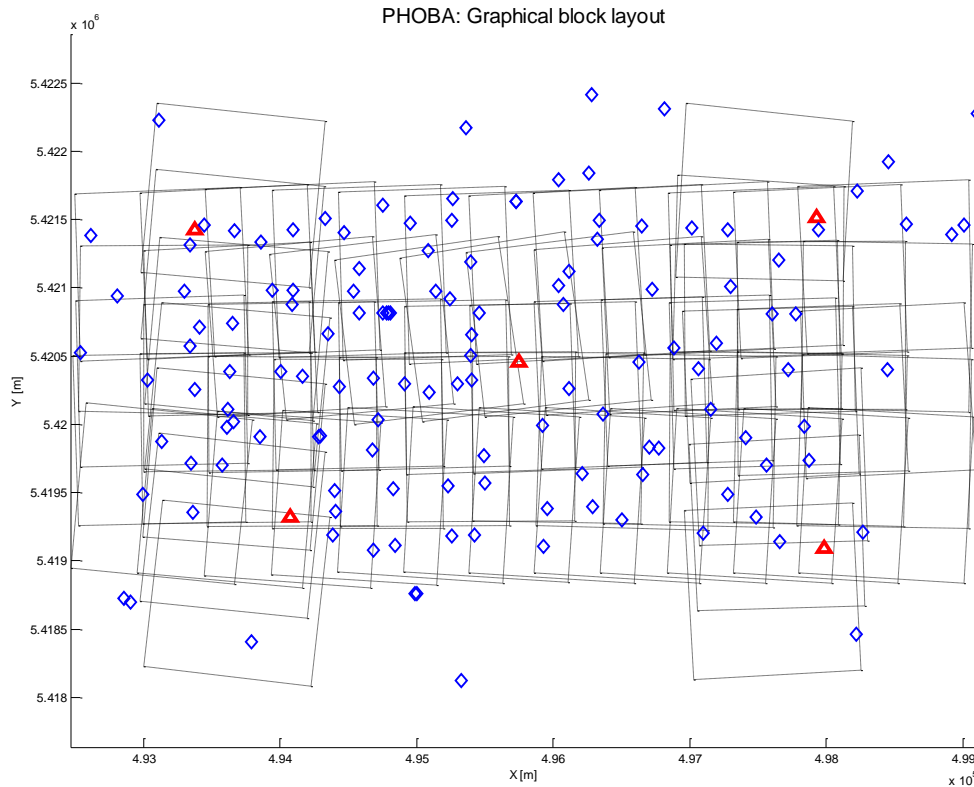
# Ergebnisse / RMK 8cm / V1

Punktart	Varianzen geschätzt aus Qxx		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
Verknüpf.punkte:	± 2.0	± 2.2	± 4.5
Passpunkte:	± 1.2	± 1.2	± 2.0
Kontrollpunkte:	± 1.3	± 1.3	± 2.7

Punktart	RMS der Restklaffen		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
GPS-Positionen:	± 8.3	± 7.2	± 3.7
Passpunkte:	± 1.4	± 1.3	± 2.6
Kontrollpunkte*:	± 2.1	± 2.0	± 4.4

\* Auswertung M. Cramer, bereinigt um systematische Anteile.

# Ergebnisse / RMK 8cm / V2



Bundle Adjustment Statistics:  
9483 points measured in 74 photos (1 cameras)  
Number of skipped points: 409  
Number of object points: 2436  
Tiepoints: 2321  
Control points: 5  
Checkpoints: 110  
Number of GPS events used: 74  
Number of observations used: 19203  
Number of additional parameters used: 5  
Number of unknowns: 7757  
Redundancy: 11446

# Ergebnisse / RMK 8cm / V2

Punktart	Varianzen geschätzt aus Qxx		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
Verknüpf.punkte:	± 3.1	± 3.2	± 6.1
Passpunkte:	± 2.8	± 2.9	± 5.0
Kontrollpunkte:	± 2.7	± 2.9	± 5.3

Residuen	RMS der Restklaffen		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
GPS-Positionen:	± 14.7	± 14.2	± 4.4
Passpunkte:	± 6.5	± 2.0	± 1.9
Kontrollpunkte*:	± 4.6	± 4.5	± 5.3

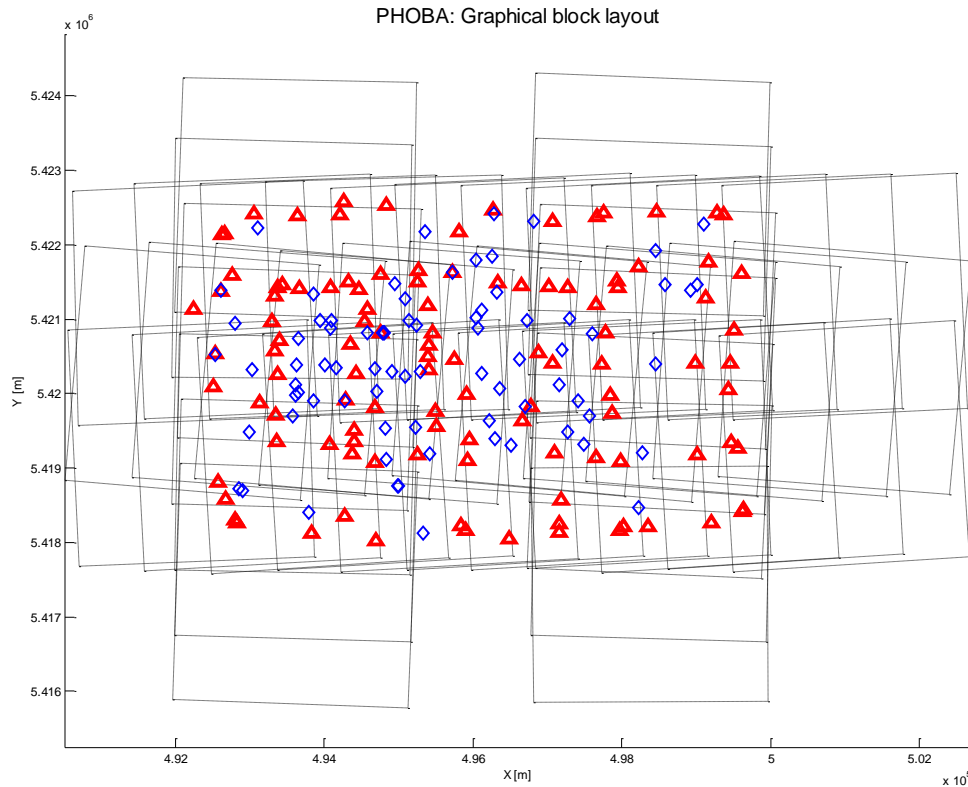
\* Auswertung M. Cramer, bereinigt um systematische Anteile.

# Ergebnisse / RMK 8cm / V3

Punktart	Varianzen geschätzt aus Qxx		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
Verknüpf.punkte:	± 3.5	± 3.6	± 7.9
Passpunkte:	± 3.3	± 3.3	± 6.4
Kontrollpunkte:	± 3.2	± 3.3	± 7.3

Residuen	RMS der Restklaffen		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
GPS-Positionen:	-	-	-
Passpunkte:	± 7.4	± 1.9	± 1.0
Kontrollpunkte:	± 5.3	± 4.9	± 5.9

# Ergebnisse / RMK 20cm / V1



## Bundle Adjustment Statistics:

11741 points measured in 47 photos (1 cameras)

Number of skipped points: 581

Number of object points: 2167

Tiepoints: 2018

Control points: 82

Checkpoints: 67

Number of GPS events used: 47

Number of observations used: 23869

Number of additional parameters used: 5

Number of unknowns: 6788

Redundancy: 17081

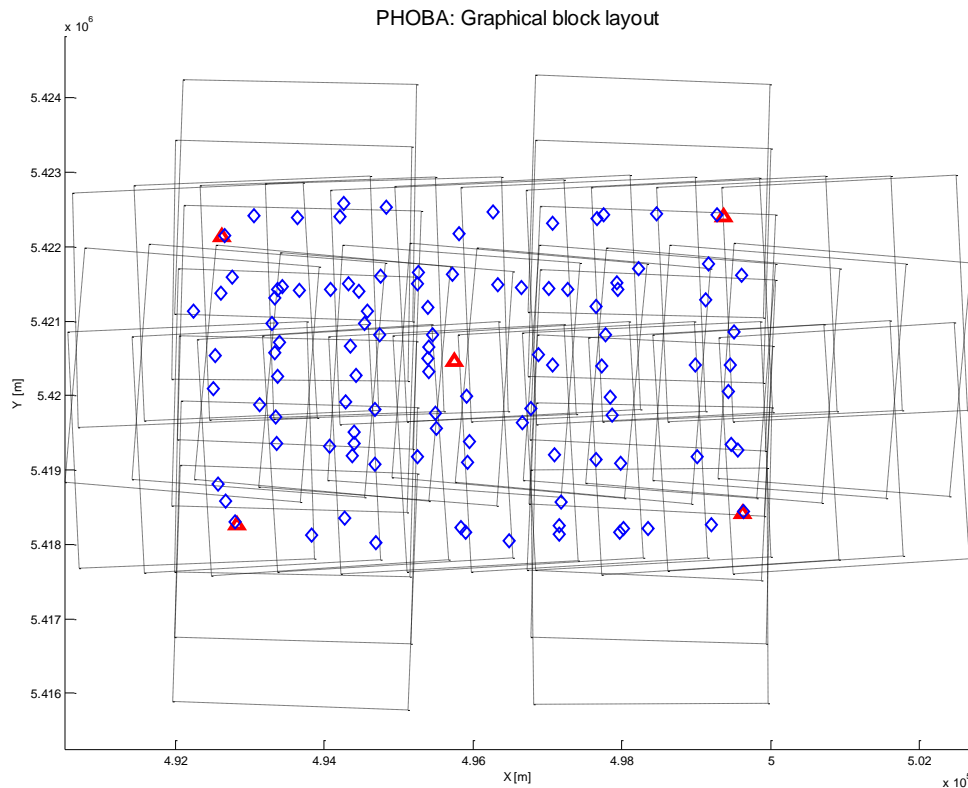
# Ergebnisse / RMK 20cm / V1

Punktart	Varianzen geschätzt aus Qxx		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
Verknüpf.punkte:	± 4.8	± 5.1	± 10.6
Passpunkte:	± 1.6	± 1.6	± 2.5
Kontrollpunkte:	± 2.5	± 2.7	± 5.0

Punktart	RMS der Restklaffen		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
GPS-Positionen:	± 10.3	± 12.5	± 6.6
Passpunkte:	± 2.3	± 2.3	± 3.2
Kontrollpunkte*:	<b>± 3.8</b>	<b>± 4.0</b>	<b>± 10.3</b>

\* Auswertung M. Cramer, bereinigt um systematische Anteile.

# Ergebnisse / RMK 20cm / V2



**Bundle Adjustment Statistics:**  
11741 points measured in 47 photos (1 cameras)  
Number of skipped points: 581  
Number of object points: 2167  
Tiepoints: 2085  
Control points: 5  
Checkpoints: 77  
Number of GPS events used: 47  
Number of observations used: 23638  
Number of additional parameters used: 5  
Number of unknowns: 6788  
Redundancy: 16850



# Ergebnisse / RMK 20cm / V2

Punktart	Varianzen geschätzt aus Qxx		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
Verknüpf.punkte:	± 5.0	± 5.3	± 10.9
Passpunkte:	± 1.8	± 1.8	± 2.7
Kontrollpunkte:	± 3.3	± 3.5	± 6.8

Residuen	RMS der Restklaffen		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
GPS-Positionen:	± 9.2	± 15.4	± 5.8
Passpunkte:	± 2.2	± 1.8	± 2.4
Kontrollpunkte:	± 6.8	± 6.9	± 15.2

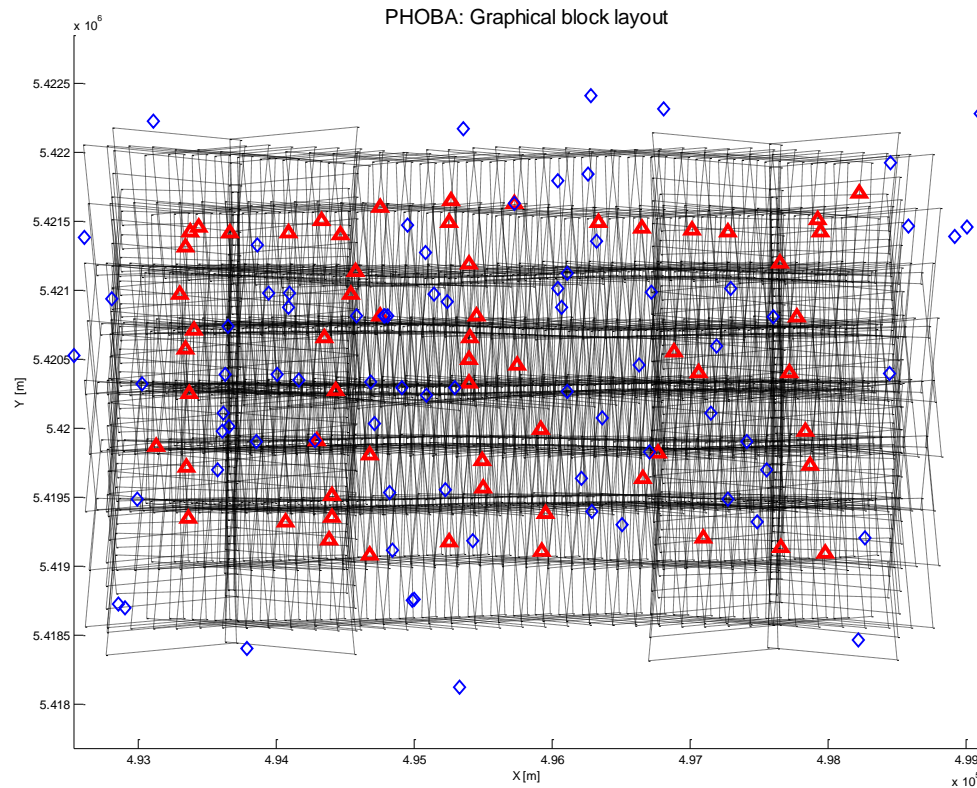
# Ergebnisse / RMK 20cm / V3

Punktart	Varianzen geschätzt aus Qxx		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
Verknüpf.punkte:	± 5.2	± 5.5	± 12.9
Passpunkte:	± 1.8	± 1.8	± 2.9
Kontrollpunkte:	± 3.6	± 3.8	± 9.1

Residuen	RMS der Restklaffen		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
GPS-Positionen:	-	-	-
Passpunkte:	± 2.5	± 1.5	± 2.1
Kontrollpunkte*:	± 6.5	± 6.8	± 18.5

\* Auswertung M. Cramer, bereinigt um systematische Anteile.

# Ergebnisse / DigiCam 8cm / V1



Bundle Adjustment Statistics:  
80252 points measured in 756 photos (4 cameras)  
Number of skipped points: 0  
Number of object points: 5328  
Tiepoints: 5215  
Control points: 57  
Checkpoints: 56  
Number of GPS events used: 756  
Number of observations used: 165209  
Number of additional parameters used: 32  
Number of unknowns: 20552  
Redundancy: 144657

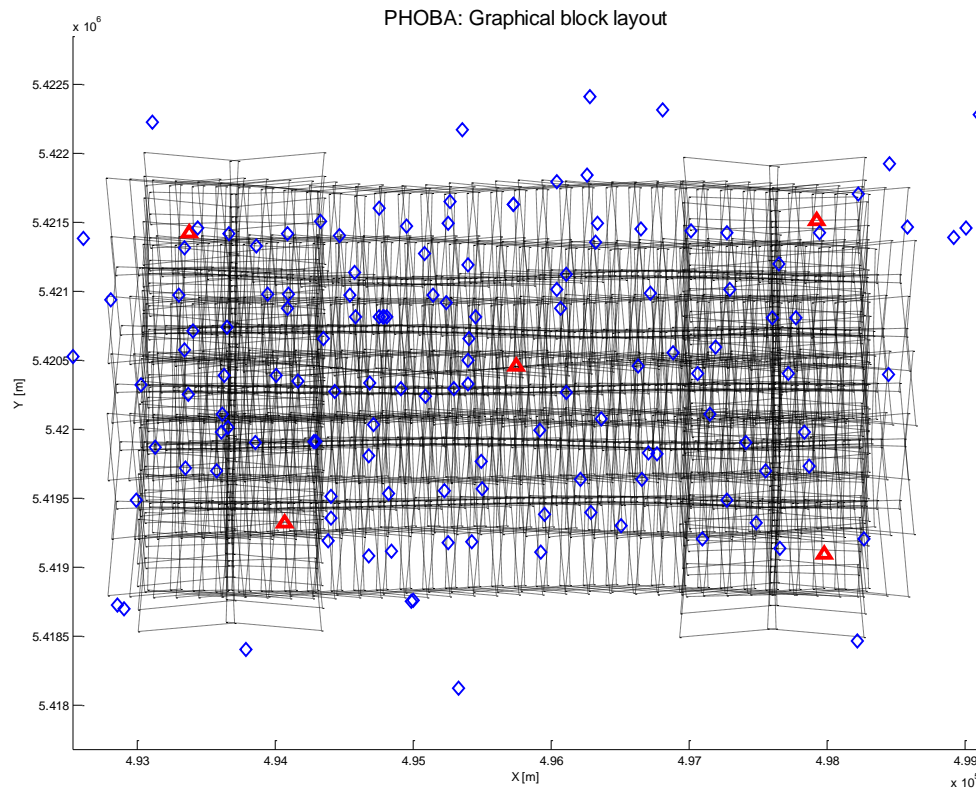
# Ergebnisse / DigiCam 8cm / V1

Punktart	Varianzen geschätzt aus Qxx		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
Verknüpf.punkte:	± 0.6	± 0.6	± 1.6
Passpunkte:	± 0.5	± 0.5	± 1.0
Kontrollpunkte:	± 0.6	± 0.7	± 1.6

Residuen	RMS der Restklaffen		
	X [cm] / $\omega$ [mgon]	Y [cm] / $\phi$ [mgon]	Z [cm] / $\varkappa$ [mgon]
GPS-Positionen:	± 8.7	± 8.5	± 2.8
IMU-Winkel:	± 2.3	± 1.9	± 1.5
Passpunkte:	± 1.7	± 2.8	± 2.7
Kontrollpunkte*:	<b>± 2.1</b>	<b>± 2.9</b>	<b>± 4.5</b>

\* Auswertung M. Cramer, bereinigt um systematische Anteile.

# Ergebnisse / DigiCam 8cm / V2



## Bundle Adjustment Statistics:

80252 points measured in 756 photos (4 cameras)

Number of skipped points: 0

Number of object points: 5328

Tiepoints: 5215

Control points: 5

Checkpoints: 108

Number of GPS events used: 756

Number of observations used: 165053

Number of additional parameters used: 32

Number of unknowns: 20552

Redundancy: 144501

# Ergebnisse / DigiCam 8cm / V2

Punktart	Varianzen geschätzt aus Qxx		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
Verknüpf.punkte:	± 0.6	± 0.7	± 1.7
Passpunkte:	± 0.5	± 0.6	± 1.3
Kontrollpunkte:	± 0.6	± 0.7	± 1.7

Residuen	RMS der Restklaffen		
	X [cm] / $\omega$ [mgon]	Y [cm] / $\phi$ [mgon]	Z [cm] / $\varkappa$ [mgon]
GPS-Positionen:	± 8.7	± 8.1	± 2.9
IMU-Winkel:	± 2.3	± 1.8	± 1.5
Passpunkte:	± 1.5	± 4.0	± 2.4
Kontrollpunkte*:	<b>± 2.2</b>	<b>± 3.5</b>	<b>± 5.0</b>

\* Auswertung M. Cramer, bereinigt um systematische Anteile.

# Ergebnisse / DigiCam 8cm / V3

Anmerkung:

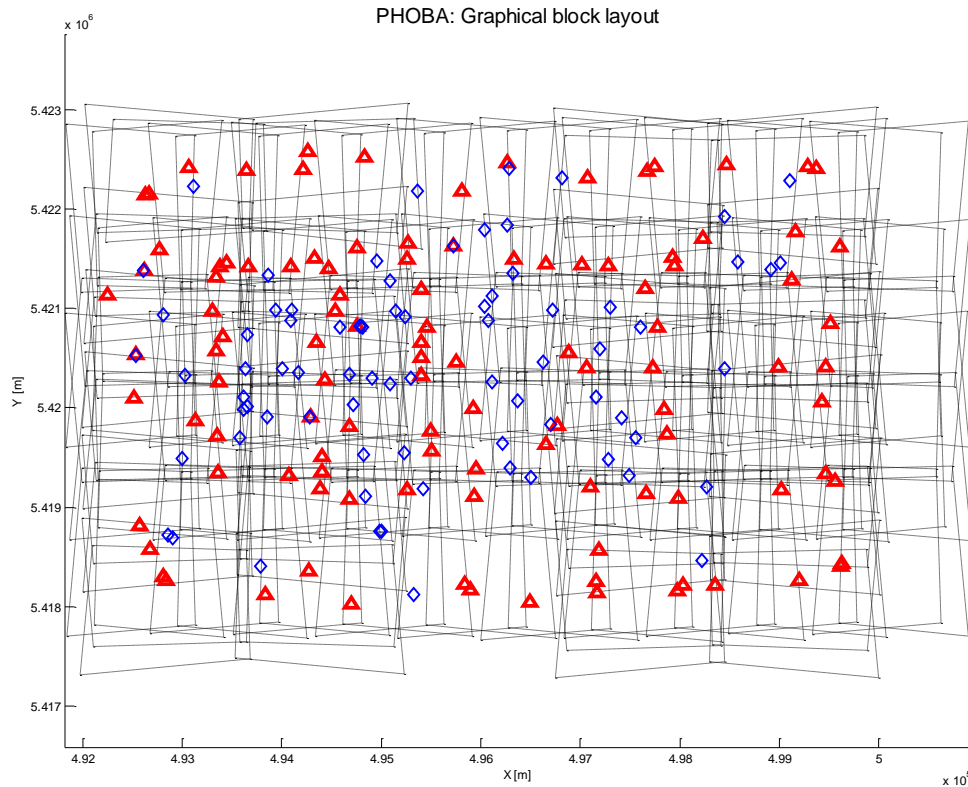
Variante 3 ist mehr von akademischem Interesse, die Integration von GPS/IMU-Daten ist fixer Bestandteil des DigiCam-Systems!

Punktart	Varianzen geschätzt aus Qxx		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
Verknüpf.punkte:	± 1.0	± 1.0	± 2.7
Passpunkte:	± 0.8	± 0.8	± 1.5
Kontrollpunkte:	± 0.9	± 1.0	± 2.6

Residuen	RMS der Restklaffen		
	X [cm] / $\omega$ [mgon]	Y [cm] / $\phi$ [mgon]	Z [cm] / $\varkappa$ [mgon]
GPS-Positionen:	-	-	-
IMU-Winkel:	-	-	-
Passpunkte:	± 2.7	± 3.6	± 8.4
Kontrollpunkte*:	± 2.6	± 3.1	± 54.4

\* Auswertung M. Cramer, bereinigt um systematische Anteile.

# Ergebnisse / DigiCam 20cm / V1



## Bundle Adjustment Statistics:

76536 points measured in 168 photos (4 cameras)

Number of skipped points: 563

Number of object points: 11816

Tiepoints: 11643

Control points: 104

Checkpoints: 69

Number of GPS events used: 168

Number of observations used: 154392

Number of additional parameters used: 32

Number of unknowns: 36488

Redundancy: 117904



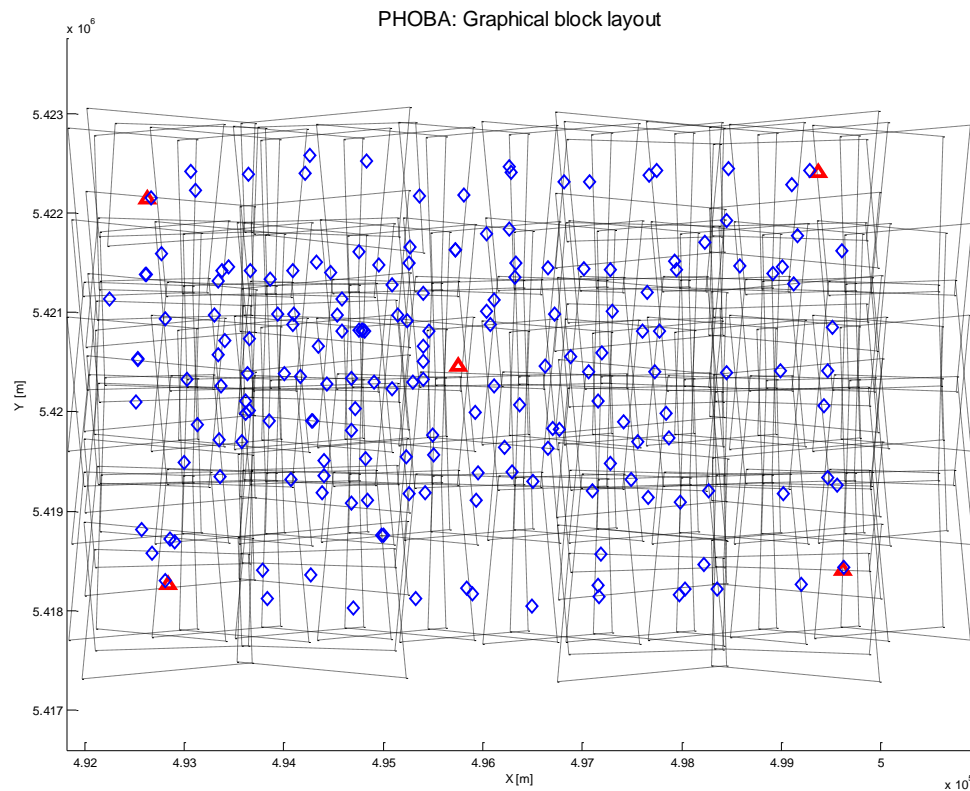
# Ergebnisse / DigiCam 20cm / V1

Punktart	Varianzen geschätzt aus Qxx		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
Verknüpf.punkte:	± 1.9	± 2.1	± 5.2
Passpunkte:	± 1.0	± 1.0	± 1.8
Kontrollpunkte:	± 1.7	± 1.9	± 4.9

Residuen	RMS der Restklaffen		
	X [cm] / $\omega$ [mgon]	Y [cm] / $\phi$ [mgon]	Z [cm] / $\varkappa$ [mgon]
GPS-Positionen:	± 8.9	± 11.2	± 6.1
IMU-Winkel:	± 7.8	± 8.3	± 3.2
Passpunkte:	± 2.0	± 2.1	± 1.4
Kontrollpunkte*:	<b>± 4.5</b>	<b>± 6.1</b>	<b>± 7.8</b>

\* Auswertung M. Cramer, bereinigt um systematische Anteile.

# Ergebnisse / DigiCam 20cm / V2



## Bundle Adjustment Statistics:

- 76536 points measured in 168 photos (4 cameras)
- Number of skipped points: 563
- Number of object points: 11161
- Tiepoints: 10988
- Control points: 5
- Checkpoints: 168
- Number of GPS events used: 168
- Number of observations used: 151475
- Number of additional parameters used: 32
- Number of unknowns: 34523
- Redundancy: 116952

# Ergebnisse / DigiCam 20cm / V2

Punktart	Varianzen geschätzt aus Qxx		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
Verknüpf.punkte:	± 2.0	± 2.2	± 5.5
Passpunkte:	± 1.1	± 1.1	± 1.8
Kontrollpunkte:	± 1.8	± 2.1	± 5.4

Residuen	RMS der Restklaffen		
	X [cm] / $\omega$ [mgon]	Y [cm] / $\phi$ [mgon]	Z [cm] / $\kappa$ [mgon]
GPS-Positionen:	± 8.3	± 9.0	± 6.0
IMU-Winkel:	± 6.4	± 7.1	± 3.0
Passpunkte:	± 2.2	± 1.7	± 3.2
Kontrollpunkte:	± 5.2	± 6.1	± 7.7

# Ergebnisse / DigiCam 20cm / V3

Anmerkung:

Variante 3 ist mehr von akademischem Interesse, die Integration von GPS/IMU-Daten ist fixer Bestandteil des DigiCam-Systems!

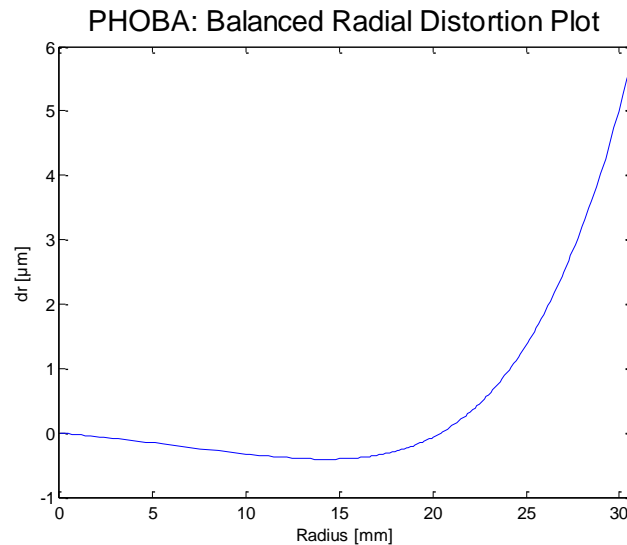
Punktart	Varianzen geschätzt aus Qxx		
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
Verknüpf.punkte:	± 2.3	± 2.5	± 7.6
Passpunkte:	± 1.1	± 1.1	± 1.7
Kontrollpunkte:	± 2.1	± 2.4	± 7.2

Residuen	RMS der Restklaffen		
	X [cm] / $\omega$ [mgon]	Y [cm] / $\phi$ [mgon]	Z [cm] / $\varkappa$ [mgon]
GPS-Positionen:	-	-	-
IMU-Winkel:	-	-	-
Passpunkte:	± 1.3	± 1.0	± 1.2
Kontrollpunkte*:	± 5.2	± 5.5	± 15.2

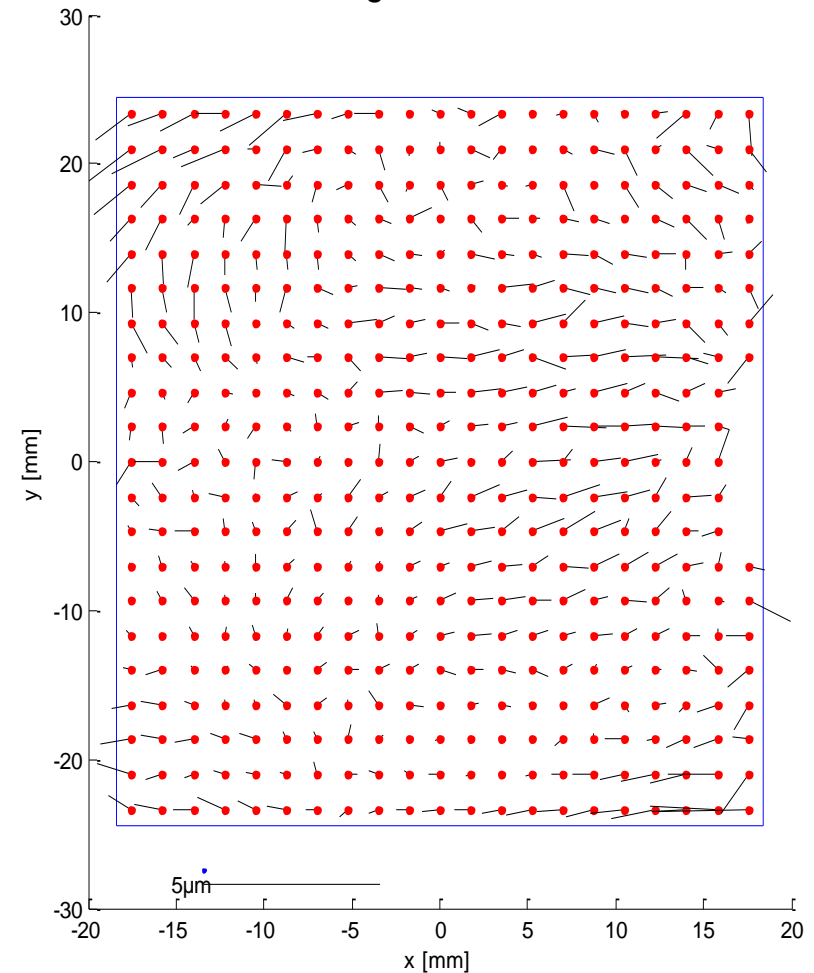
\* Auswertung M. Cramer, bereinigt um systematische Anteile.

# DigiCam 8cm / Restfehler im Bild

Kamera 124

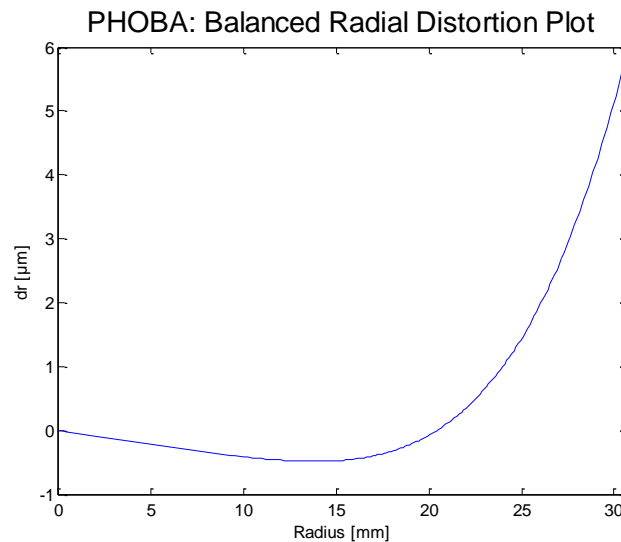


PHOBA: Image Mean Residual Plot

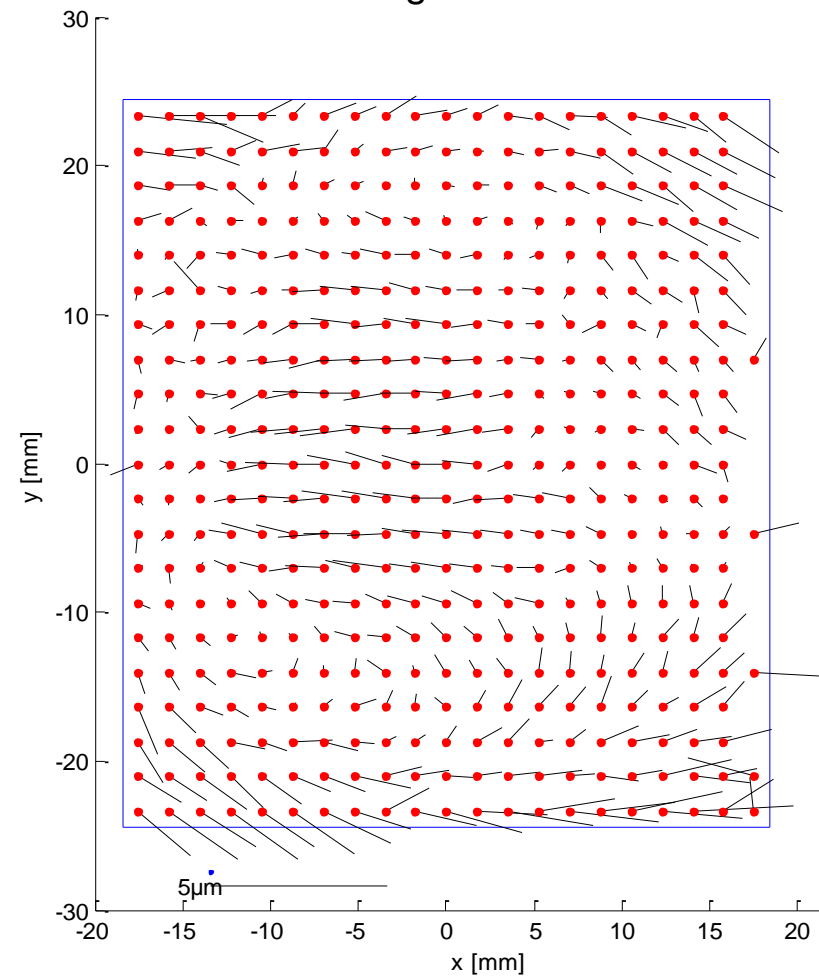


# DigiCam 8cm / Restfehler im Bild

Kamera 127



PHOBA: Image Mean Residual Plot



# Vorläufige Schlussfolgerungen

- ▶ Hohe Genauigkeiten beider Systeme in Variante 1
  - Sehr gutes B/H-Verhältnis der RMK
  - Sehr gute Bildqualität und hohe Redundanz der DigiCam
- ▶ Teilweise deutliche Auswirkung der reduzierten GCP-Anzahl auf die Höhengenaugigkeit (RMK und DigiCam)
- ▶ Genauere Analyse der Blockdeformation notwendig
  - RMS-Werte allein nicht aussagekräftig
  - Ausreißer-Detektion