

# Details zur Geometrie digitaler Luftbildkameras eingesetzt im DGPF-Projekt Kameraevaluierung

Karsten Jacobsen

Institut für Photogrammetrie und GeoInformation

Leibniz Universität Hannover

[jacobsen@ipi.uni-hannover.de](mailto:jacobsen@ipi.uni-hannover.de)



# Ziel und Kameras

Untersuchung der Geometrie eingesetzten Luftbildkamarasysteme - hier beschränkt auf Flächenkamaras

1. Großformatige Flächenkamaras  
Z/I Imaging DMC, Vexcel Imaging UltraCamX
2. Mittelformatsystemkamaras  
IGI GmbH Quattro-DigiCAM, Rolleimetric AIC-x
3. Analoge Luftbildkamera RMK zum Vergleich

Mathematisches Modell: Zentralprojektion

Realität zeigt Abweichungen vom mathematischen Modell – Bestimmung durch Selbstkalibrierung mit zusätzlichen Parametern und Analyse der Residuen der Blockausgleichung (Widersprüche an den Bildkoordinaten)

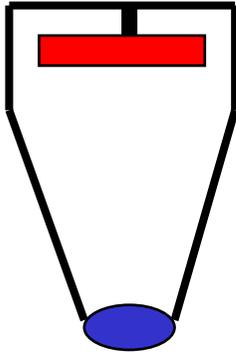
Grund für Abweichungen: Optik, Ebenheit der Sensorfläche, geometrisch richtige Zusammensetzung von Teilbildern



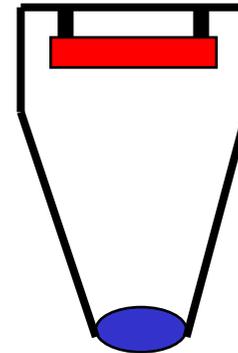
# Digitale Flächenkameras Befestigung der CCD's

Problem: CCD auf Keramikbasis - anderer Ausdehnungskoeffizient als Kamerakörper

CCD nur in der Mitte befestigt



CCD an allen Ecken befestigt



Vorteil: keine Deformation des CCD

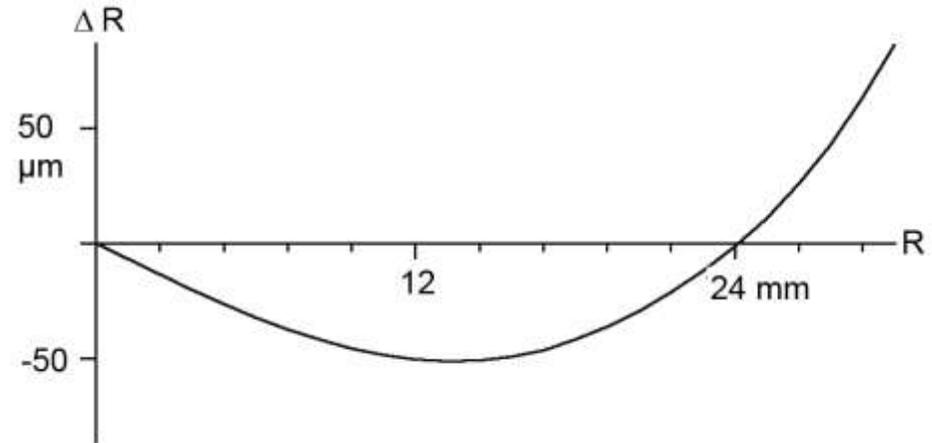
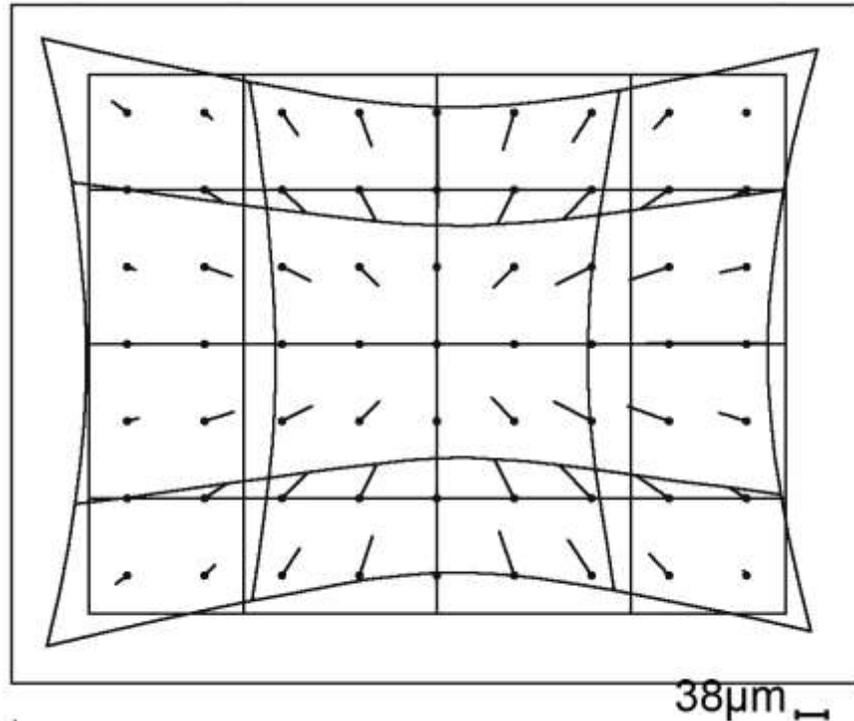
Nachteil: CCD kann sich bewegen, damit Genauigkeitsgrenze bezüglich direkter Sensororientierung

Vorteil: CCD fest mit Kamera verbunden, beeinflusst nicht den Bezug zur IMU

Nachteil: Deformation des CCD → größere systematische Bildfehler



# Rolleimetric AIC x-1 (Trimble Aerial Camera) P45+39MPixel c=47mm



Radialsymmetrische Verzeichnung

In der Praxis kein Problem – kann mit jeder Standardsoftware berücksichtigt werden

Systematische Bildfehler 12 zusätzliche Parameter (Programm BLUH)

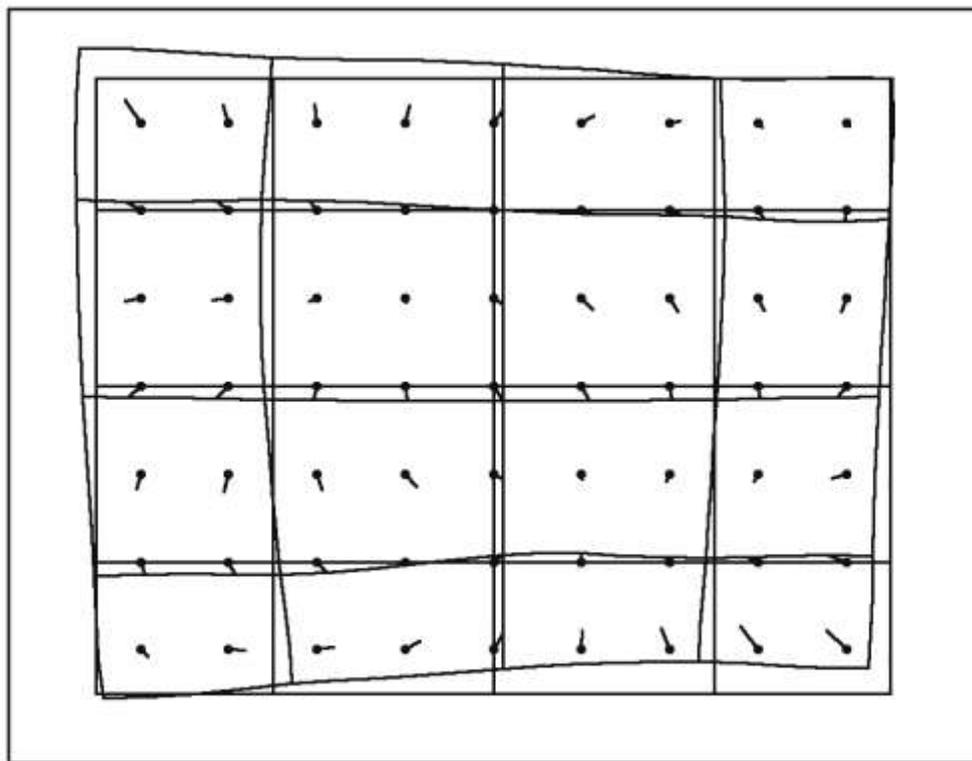
(Abweichung tatsächliche Bildgeometrie gegenüber Zentralprojektion)

297 Bilder, 101 638 Bildpunkte

$\sigma_0 = 4,5\mu\text{m} = 0,66 \text{ Pixel}$

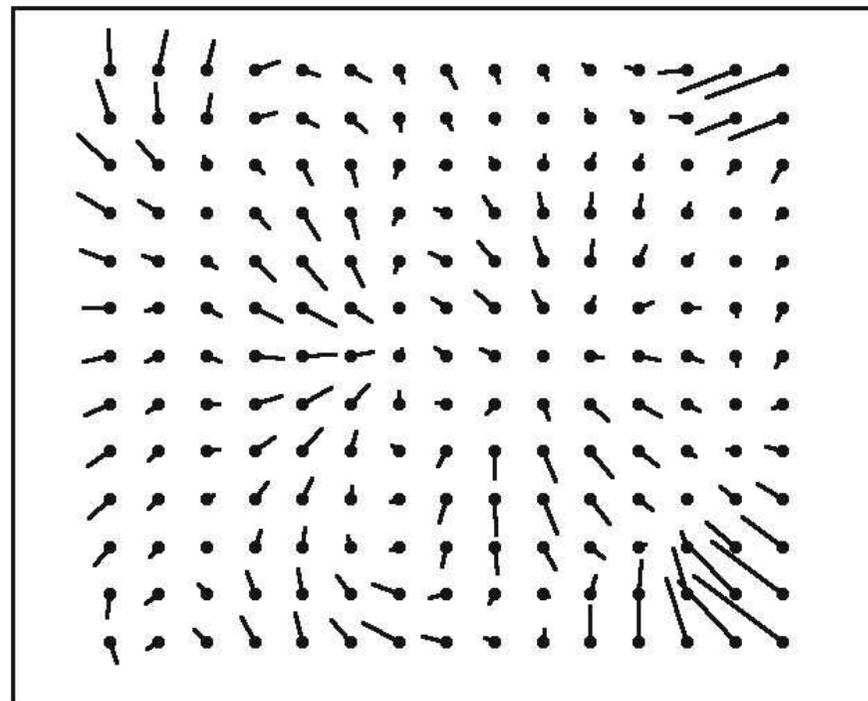


# Rolleimetric AIC x-1 (Trimble Aerial Camera) P45+39MPixel c=47mm



$\pm 10\mu\text{m} = 1,5 \text{ Pixel}$   $19\mu\text{m}$   $\leftarrow$

Systematische Bildfehler nach Abzug der radialsymmetrischen Komponenten  
(durch Selbstkalibrierung mit 12 zusätzlichen Parametern)



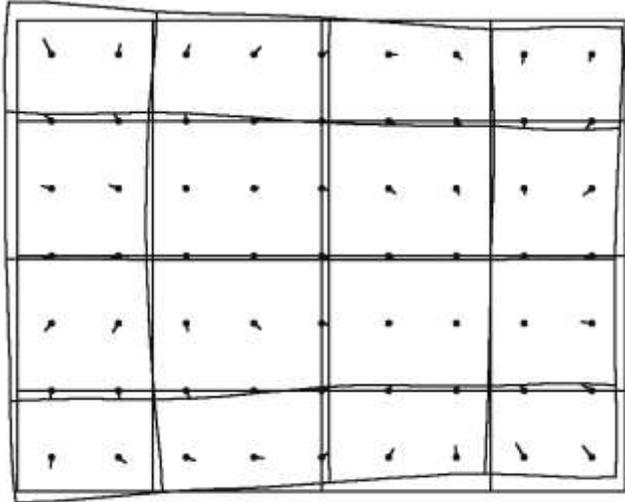
$\pm 3,3\mu\text{m} = 0,49 \text{ Pixel}$

Verbliebene systematische Bildfehler  
(Mittelbildung der Residuen > 400 Residuen/Vektor)

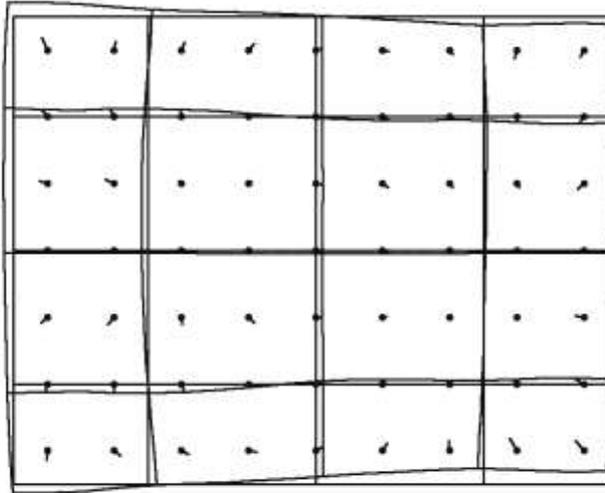
$\leftarrow$  5.0



# Rolleimetric AIC x-1 Konstanz der systematischen Bildfehler



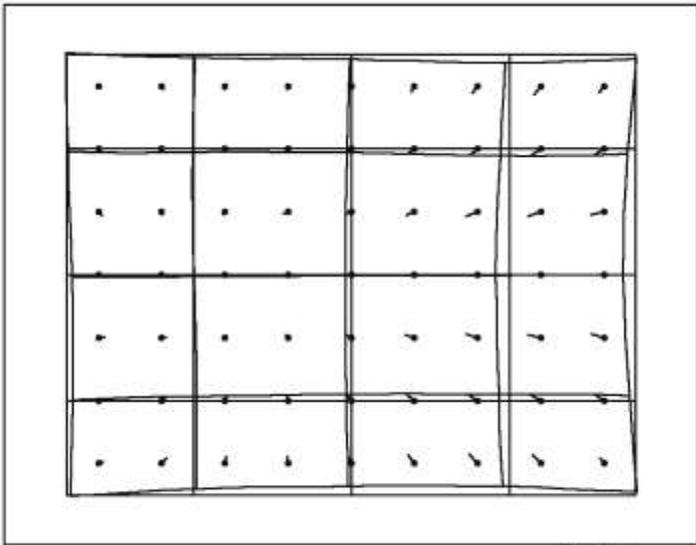
19µm



19µm

Separat für 2  
Blockhälften  
berechnet

- nach Abzug der  
radialsymmetrischen  
Komponenten



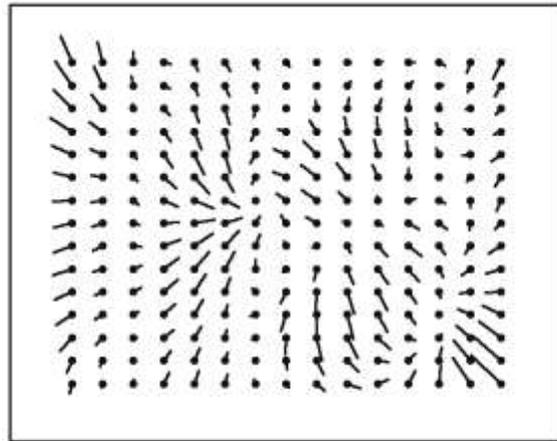
5µm

Differenz der  
systematischen  
Bildfehler beider  
Blockhälften

$\pm 0,5\mu\text{m} = 0,07 \text{ Pixel}$

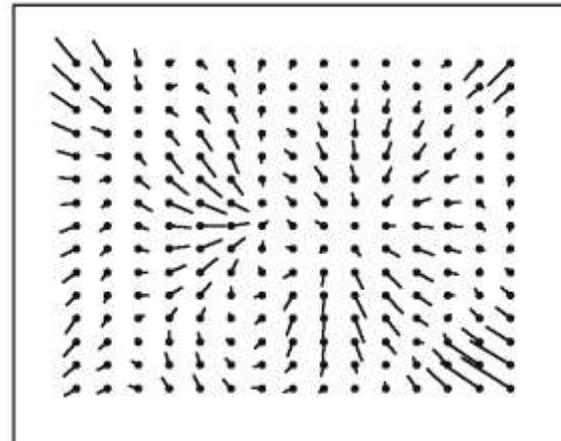


# Verbliebene systematische Bildfehler AIC



1

5.0



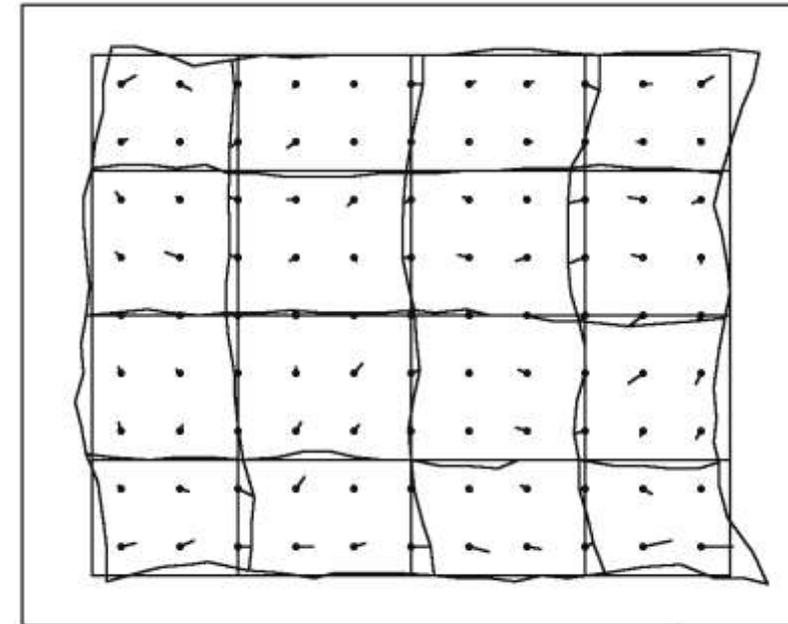
2

5.0

Verbliebene systematische Bildfehler separat für beide Blockhälften

$3,3\mu\text{m} = 0,49 \text{ Pixel}$

$3,4\mu\text{m} = 0,50 \text{ Pixel}$



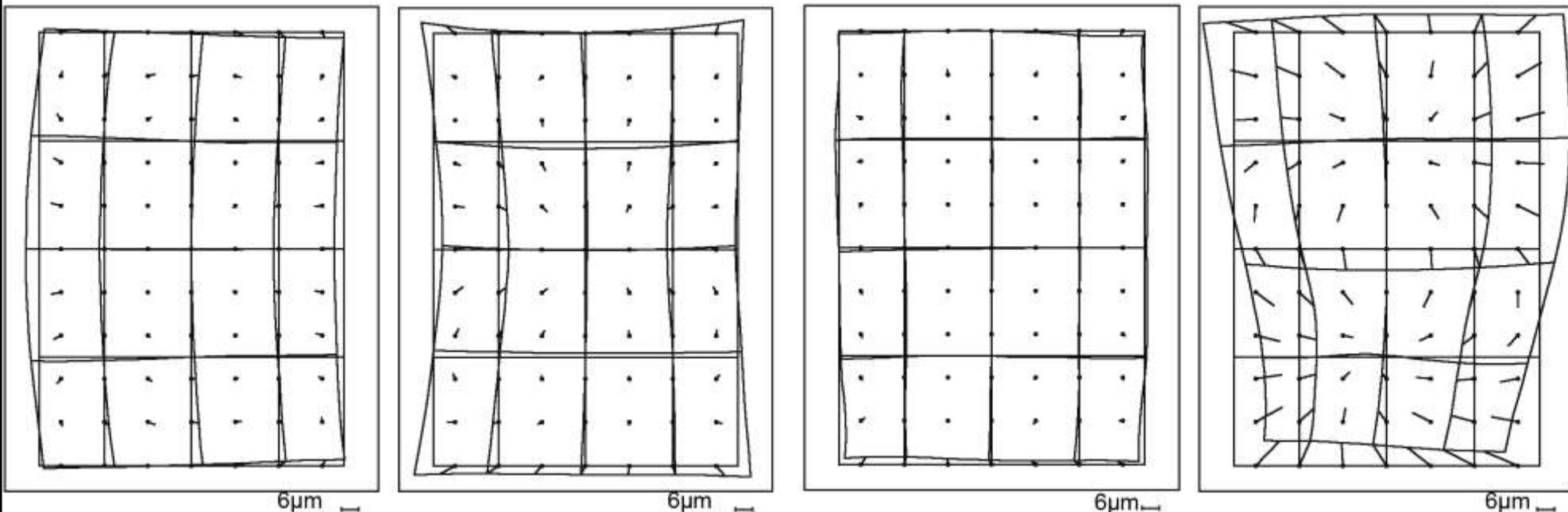
1μm

Differenz der verbliebenen systematischen Bildfehler = Änderung der Kamerageometrie während des Bildflugs

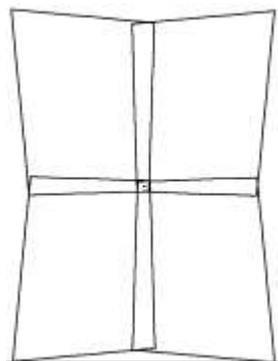
$0,55\mu\text{m} = 0,08 \text{ Pixel}$



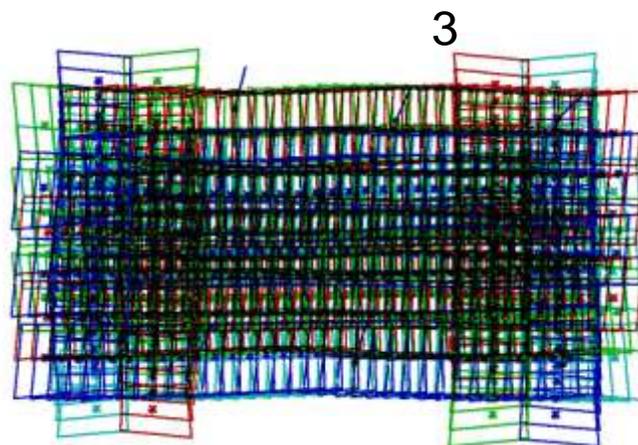
# Quattro-DigiCam (4-Kopf-Kamera) systematische Bildfehler



Teilkamera 1  $0,29 - 10,5\mu\text{m} = 2$   
 $0,4 - 1,5$  Pixel



Kombination  
 der  
 Teilkameras  
 $c=82\text{mm}$



4

**Bildbedeckung 8cm GSD**

$4 \times 196 = 784$  Bilder

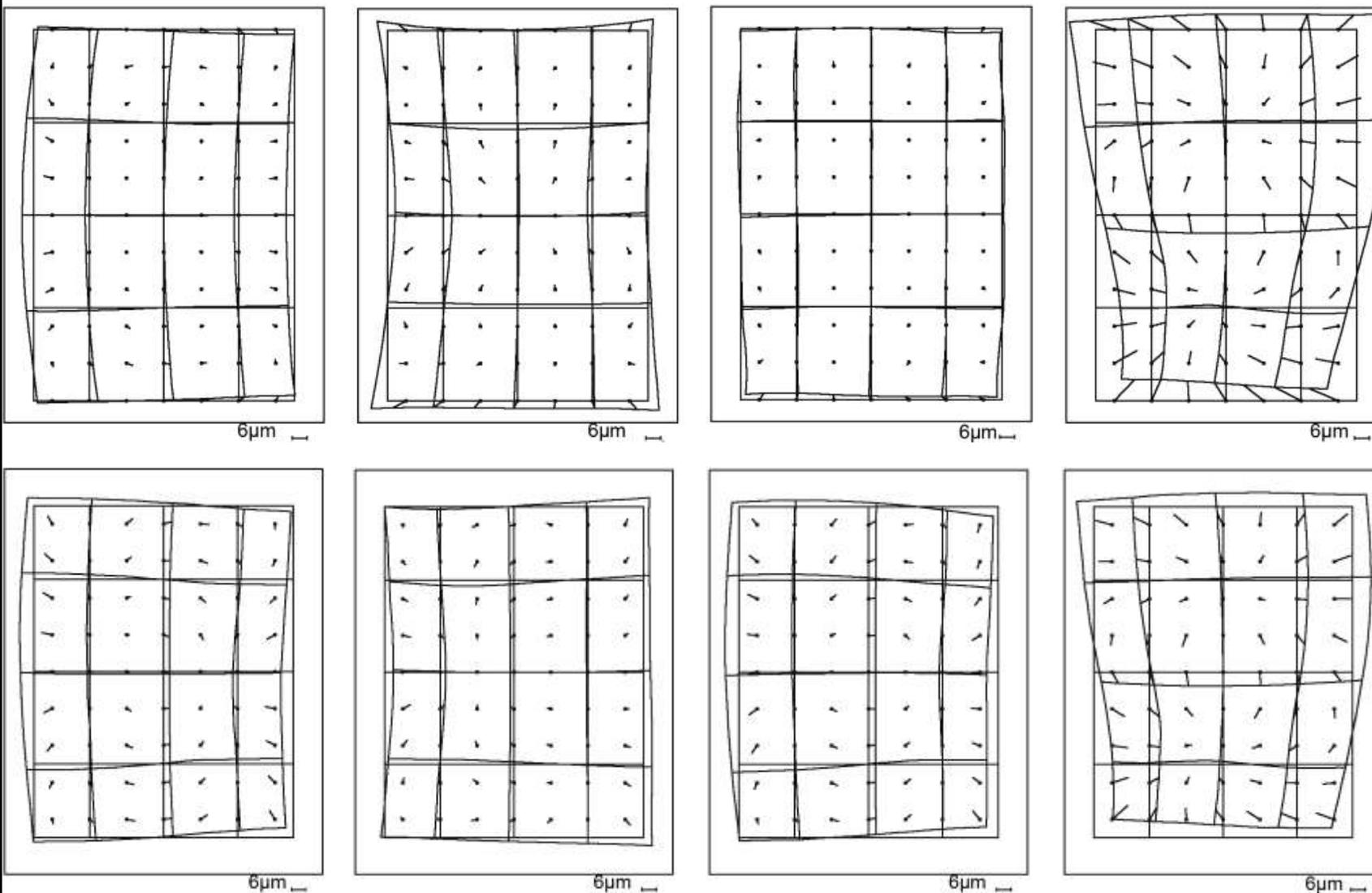
469 796 Bildpunkte

599 Punkte/Bild

$\sigma_0 = 2,3\mu\text{m} = 0,34$  Pixel



# Quattro-DigiCam (4-Kopf-Kamera) systematische Bildfehler



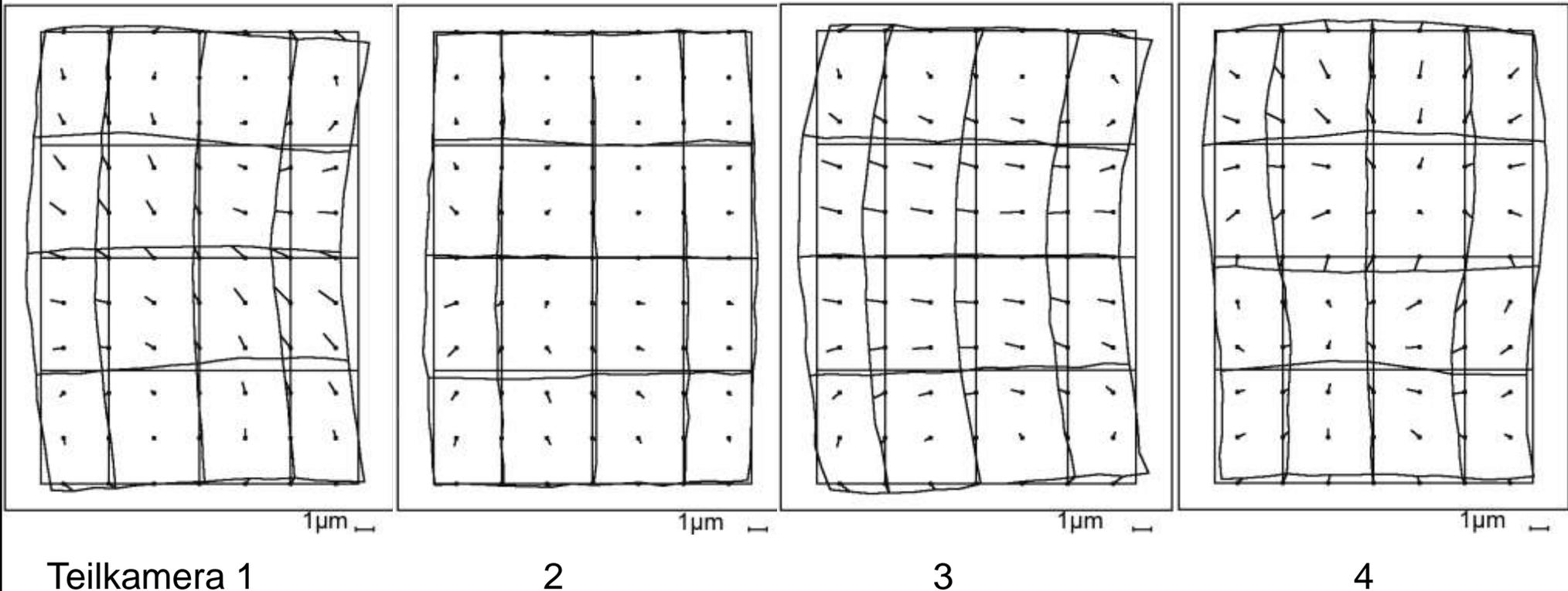
Teilkameras  
8cm GSD

Teilkameras  
20cm GSD





# Quattro-DigiCam – Änderung der systematischen Bildfehler



Änderung der systematischen Bildfehler – erste Blockhälfte gegen zweite Blockhälfte

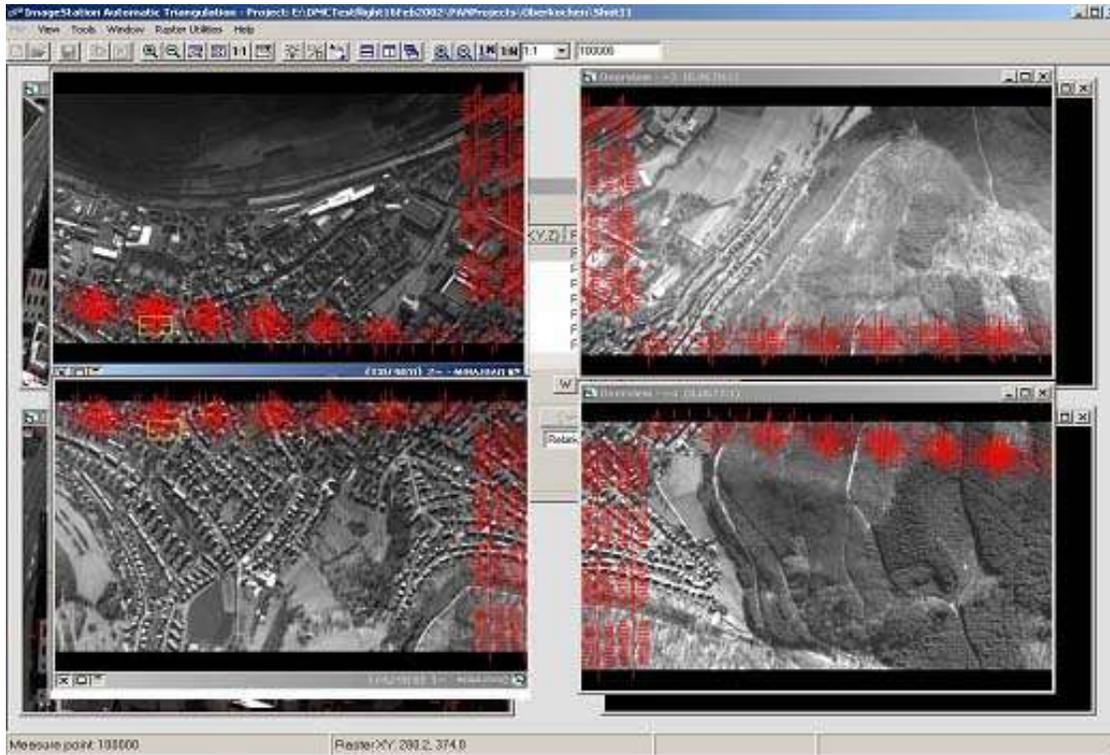
**8cm GSD**

Quadratmittel: 0,18 – 0,52µm entsprechend 0,03 – 0,08 Pixel



# Großformatige Flächenkameras – DMC und UltraCamX

Systematische Bildfehler können von Teilkameras kommen, aber auch von der Zusammensetzung der Teilbilder zu virtuellen Bildern

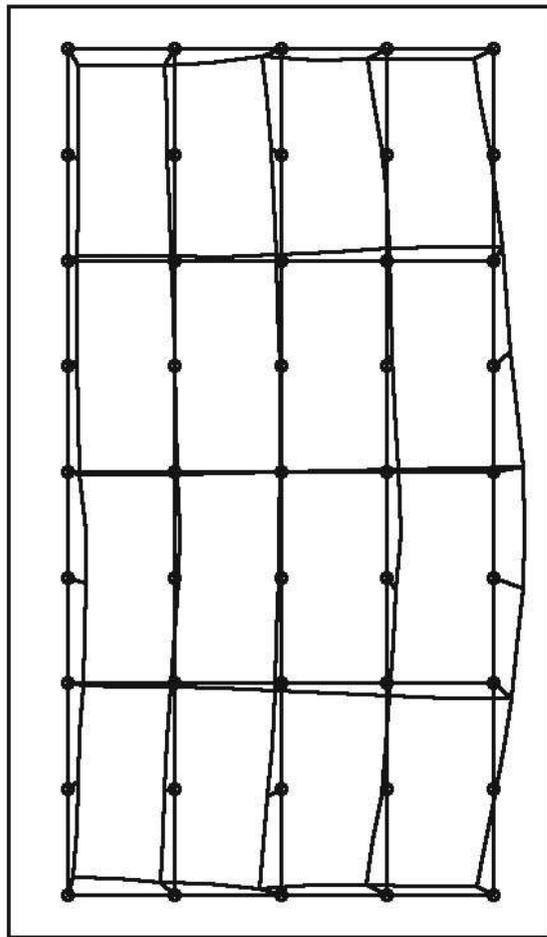


Verknüpfungspunkte der DMC-Teilbilder – individuell für jedes virtuelle Bild zusammengesetzt

ähnlich bei der UltraCam



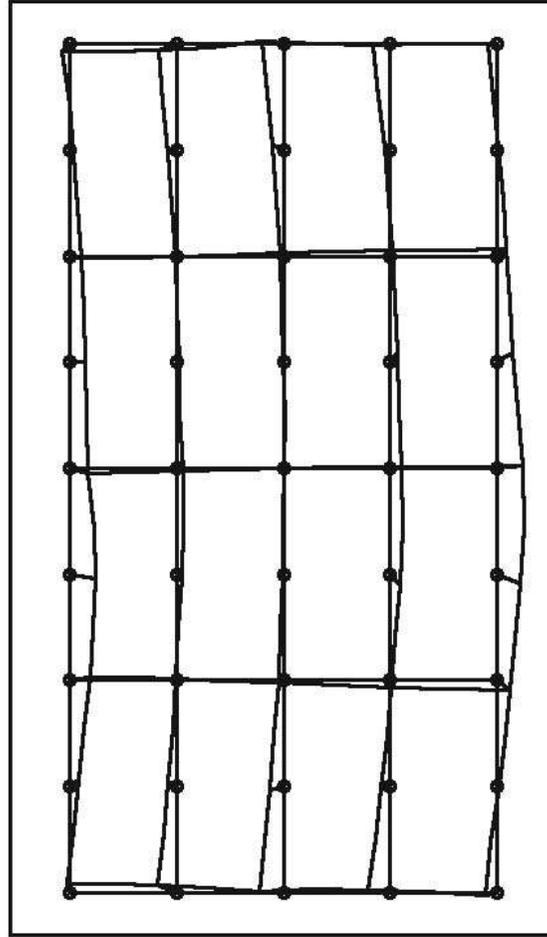
# DMC systematische Bildfehler 8cm GSD – 20cm GSD



4µm

Teilblock 1

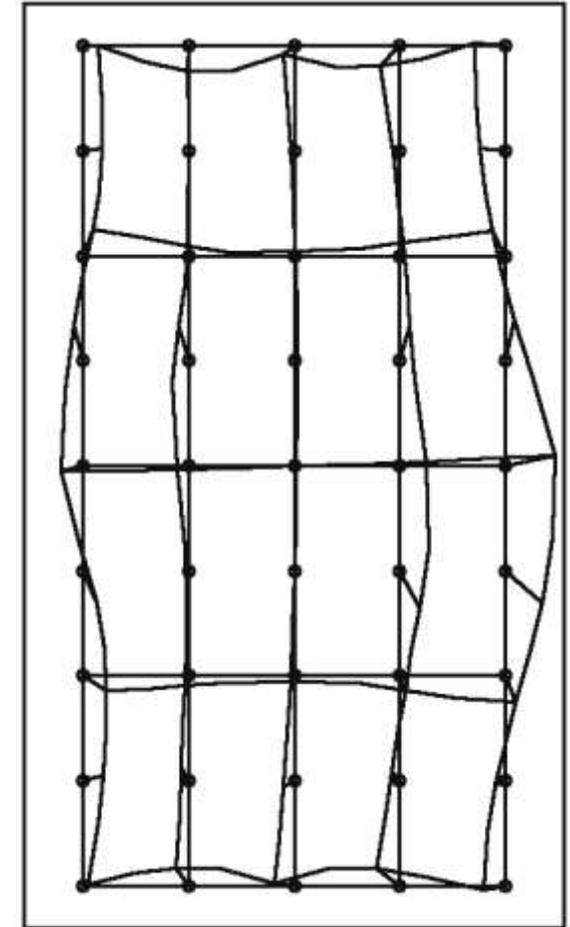
8cm GSD



4µm

Teilblock 2

14 zus. Parameter



4µm

20cm GSD

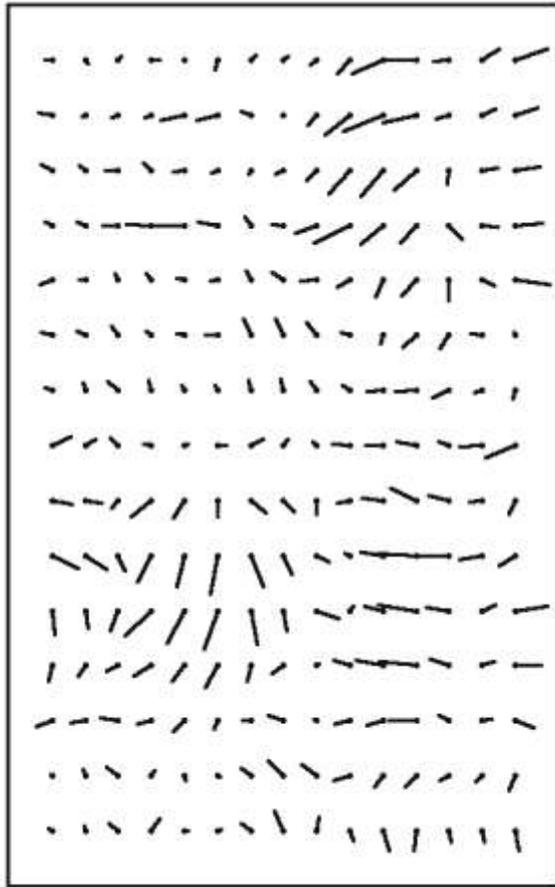
Quadrat-  
mittel

$\leftarrow 0,8\mu\text{m}$   
= 0,07  
Pixel

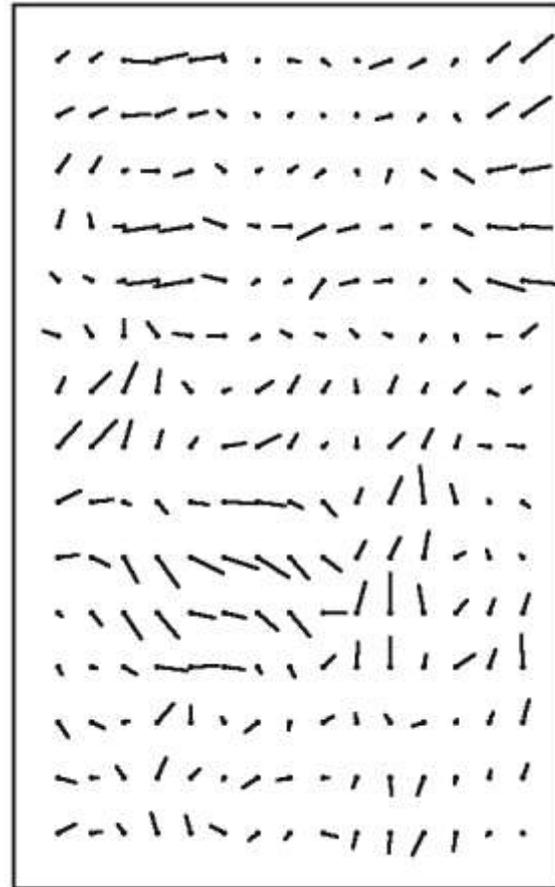
$1,3\mu\text{m} \rightarrow$   
= 0,11  
Pixel



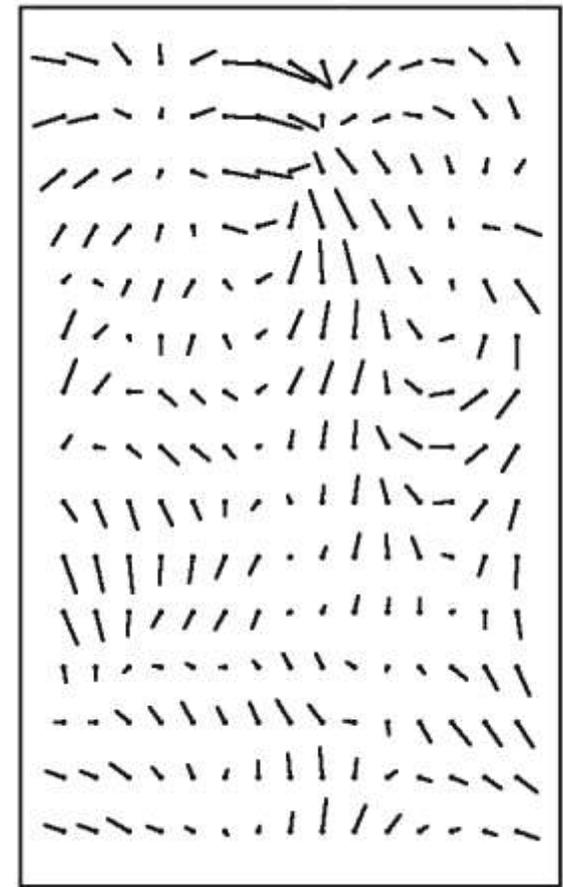
# DMC nach Selbstkalibrierung verbliebene systematische Bildfehler 8cm GSD – 20cm GSD



1  
 $\pm 0.3\mu\text{m} = 0,025 \text{ Pix.} \quad \text{---} 1.0$



2  
 $\pm 0.3\mu\text{m} = 0,025 \text{ Pix.} \quad \text{---} 1.0$



$\pm 0.4\mu\text{m} = 0,033 \text{ Pix.} \quad \text{---} 1.0$

**Teilblock 1**

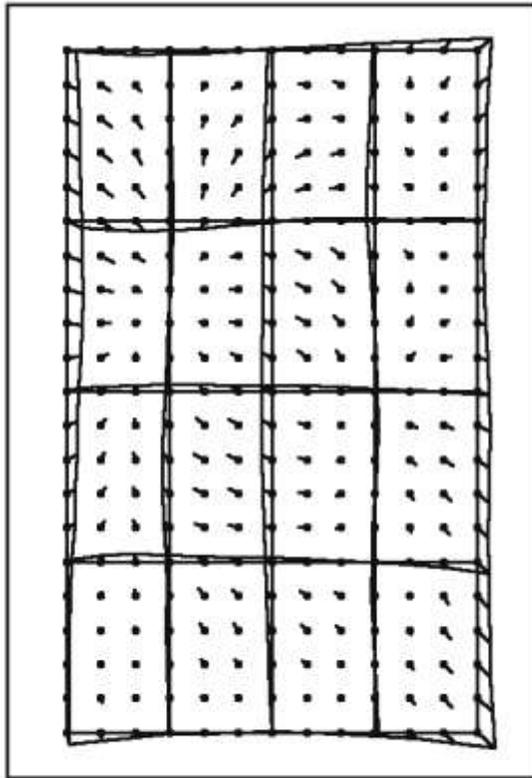
**8cm GSD**

**Teilblock 2**

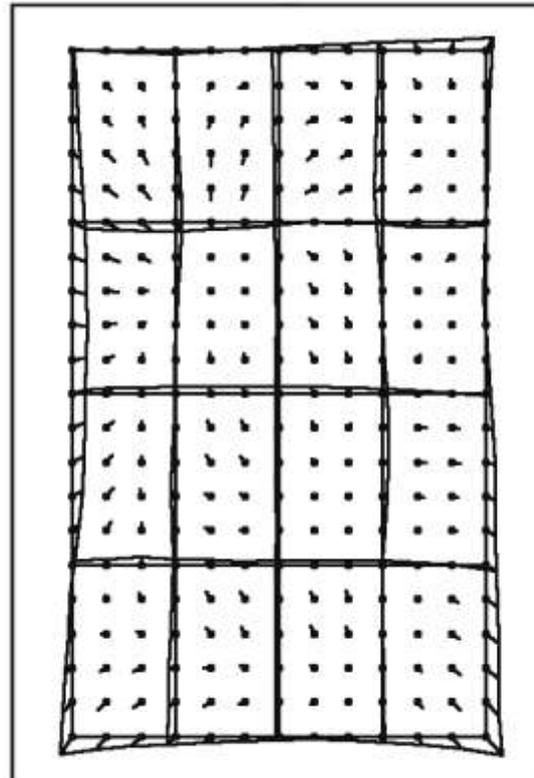
**20cm GSD**



# UltraCamX systematische Bildfehler 8cm GSD – 20cm GSD



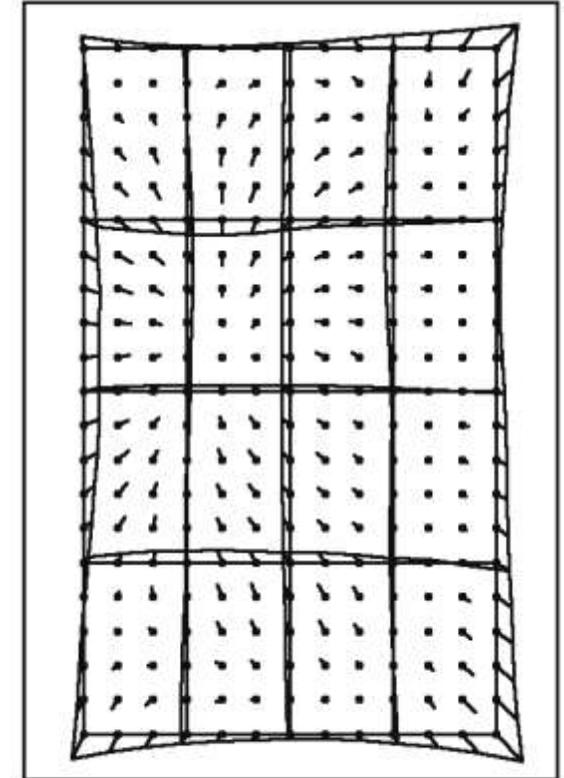
6µm



6µm

Quadrat-  
mittel  
 $\leftarrow 0,5\mu\text{m}$   
 $= 0,07$   
Pixel

$0,5\mu\text{m} \rightarrow$   
 $= 0,07$   
Pixel



6µm

12 zus. Parameter

Teilblock 1

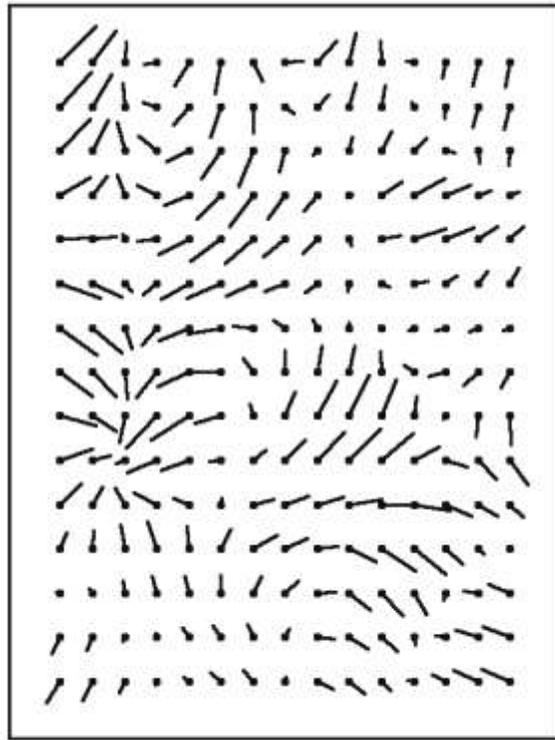
8cm GSD

Teilblock 2

20cm GSD



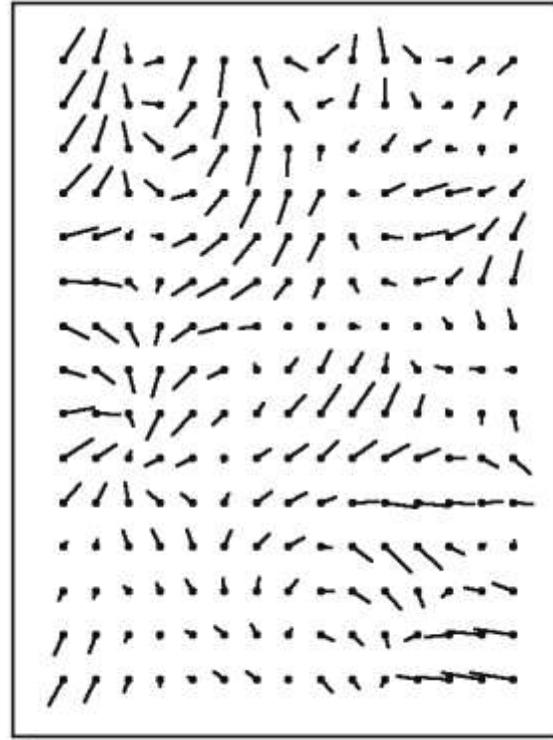
# UltraCamX nach Selbstkalibrierung verbliebene systematische Bildfehler 8cm GSD – 20cm GSD



1

1.0

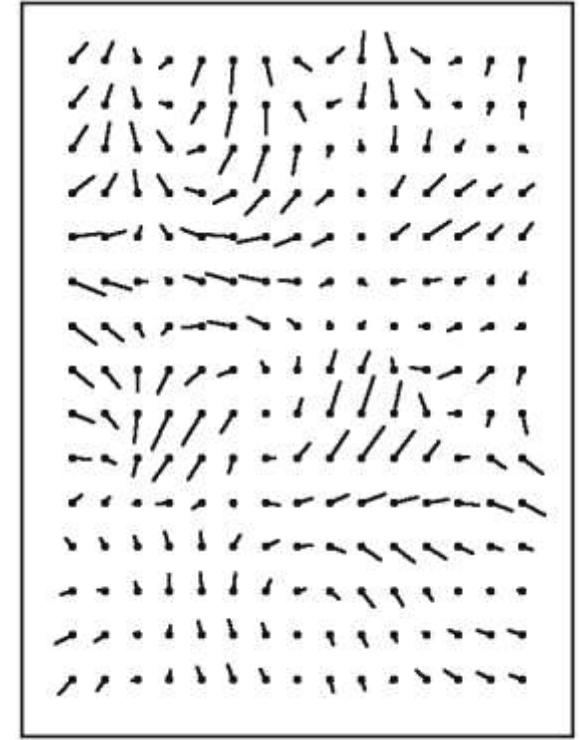
$\pm 0.55 \mu\text{m} = 0,08 \text{ Pixel}$



2

1.0

$\pm 0.50 \mu\text{m} = 0,07 \text{ Pixel}$



1.0

$\pm 0.52 \mu\text{m} = 0,07 \text{ Pixel}$

**Teilblock 1**

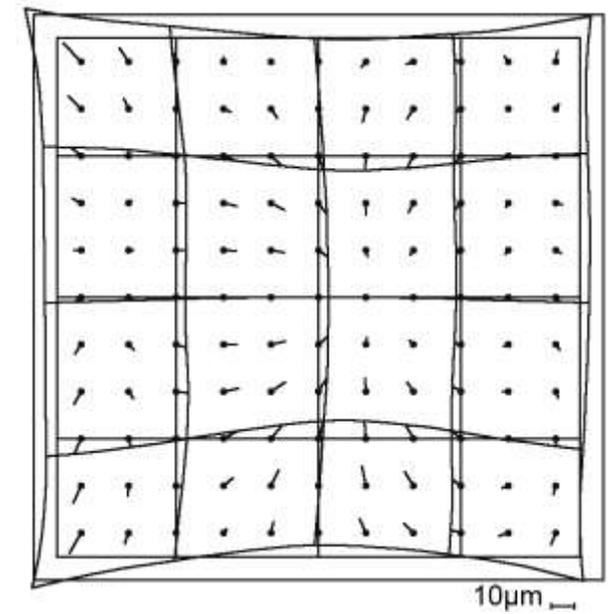
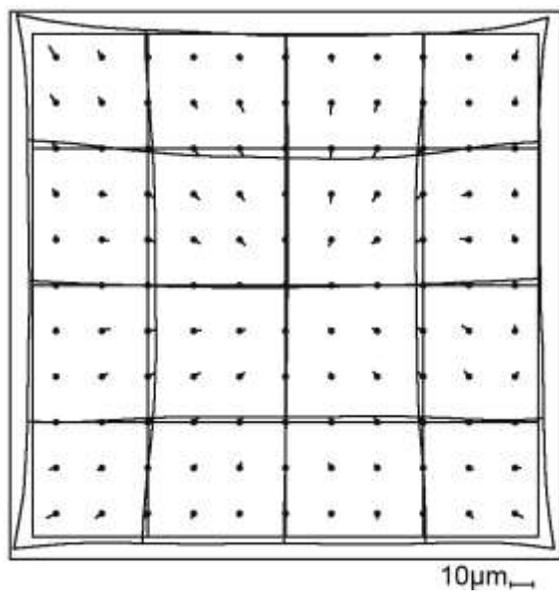
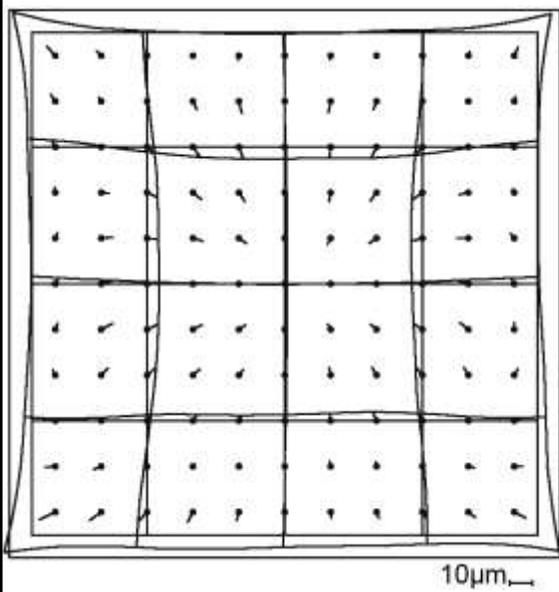
**8cm GSD**

**Teilblock 2**

**20cm GSD**



# RMK systematische Bildfehler 8cm GSD – 20cm GSD



Quadratmittel 2.86µm

2,15µm

3,66µm

Differenz: 0,97µm

12 zus. Parameter

Diff. zu 8cm GSD: 2,51µm

Teilblock 1

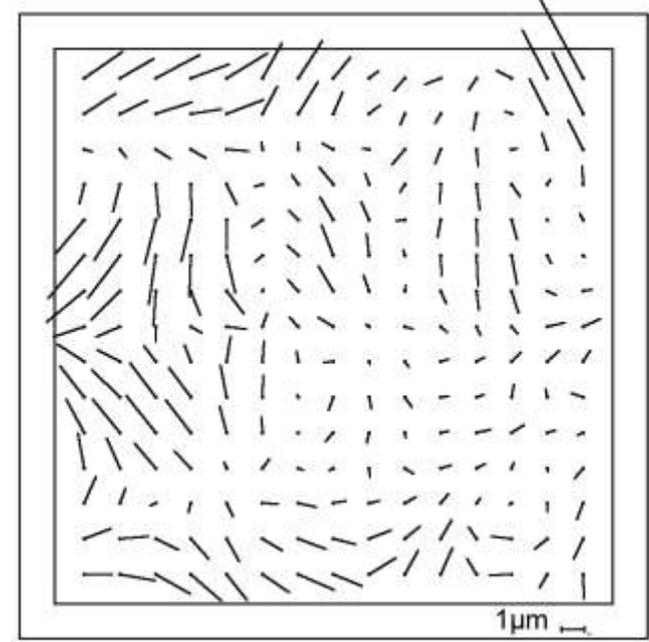
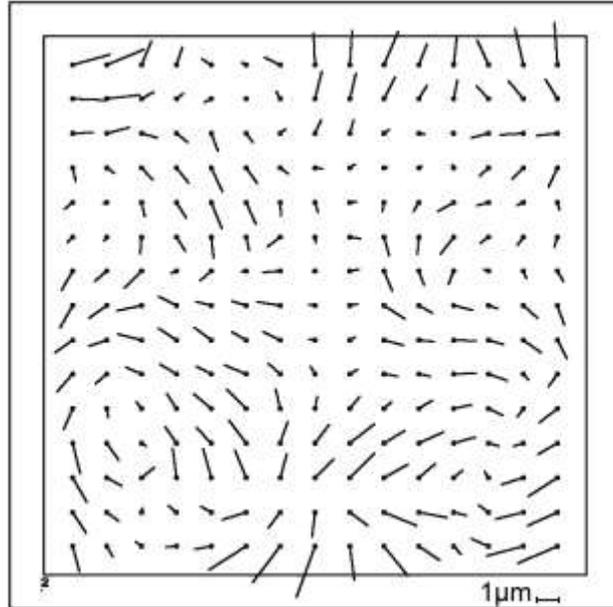
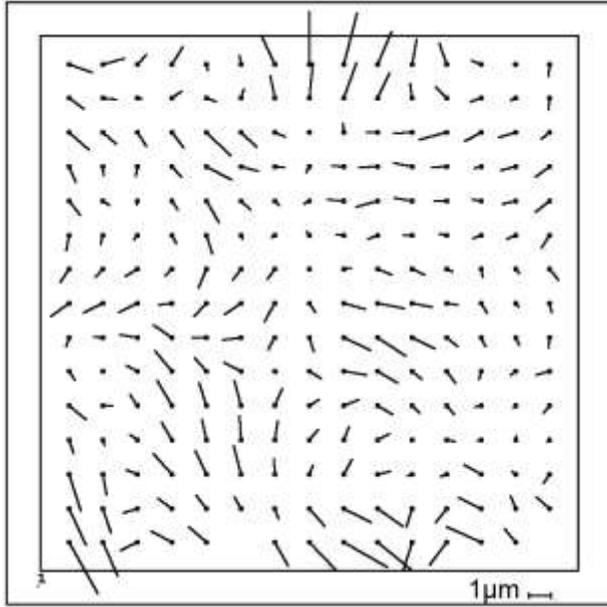
8cm GSD

Teilblock 2

20cm GSD



# RMK nach Selbstkalibrierung verbliebene systematische Bildfehler 8cm GSD – 20cm GSD



Quadratmittel 1,15µm

1,17µm

1,13µm

Teilblock 1

8cm GSD

Teilblock 2

20cm GSD



# Zusammenfassung - Schlussfolgerung

Untersuchung der Geometrie der im DGPF-Test eingesetzten flächenhaften Luftbildkamarasysteme

Die gezeigten systematischen Bildfehler sind von der CCD-Montierung abhängig

Die Rolleimetric AIC x-1 (Trimble Aerial Camera) P45+39MPixel  $c=47\text{mm}$  zeigt recht große systematische Bildfehler und nach der Selbstkalibrierung verbliebene Bildfehler – Befestigung des CCD mit 8 Schrauben am Kamerakörper

Generell zeigen sich Änderungen der systematischen Bildfehler als  $F(\text{Zeit})$  (zwischen der ersten und der zweiten Blockhälfte) die im Quadratmittel unter  $0,1$  Pixel liegen – i.d.R.  $< 0,05$  Pixel – nicht von Bedeutung für einzelne Blockausgleichung aber signifikant

Die systematischen Bildfehler zeigen die ähnliche Charakteristik für die Flüge mit  $8\text{cm GSD}$  und  $20\text{cm GSD}$  – die Unterschiede der systematischen Bildfehler sind allerdings zu groß um eine Detailkalibrierung unabhängig von der Flughöhe zu erlauben

Eine individuelle Blockausgleichung durch Selbstkalibrierung mit zusätzlichen Parametern ist erforderlich um das Genauigkeitspotential der Kameras auszuschöpfen

