

# DGPF Projekt: Evaluierung digitaler photogrammetrischer Kamerasysteme – Themenschwerpunkt Geometrie

**Karsten Jacobsen<sup>1</sup>, Michael Cramer<sup>2</sup>, Richard Ladstädter<sup>3</sup>,  
Camillo Ressel<sup>4</sup>, Volker Spreckels<sup>5</sup>**

1: Leibniz Universität Hannover 2: Universität Stuttgart  
3: TU Graz → Vexcel 4: TU Wien  
5: RAG Deutsche Steinkohle



# Ziel, Institutionen

## Untersuchung der Geometrie der digitalen Kameras

### Untersuchung des Genauigkeitspotentials

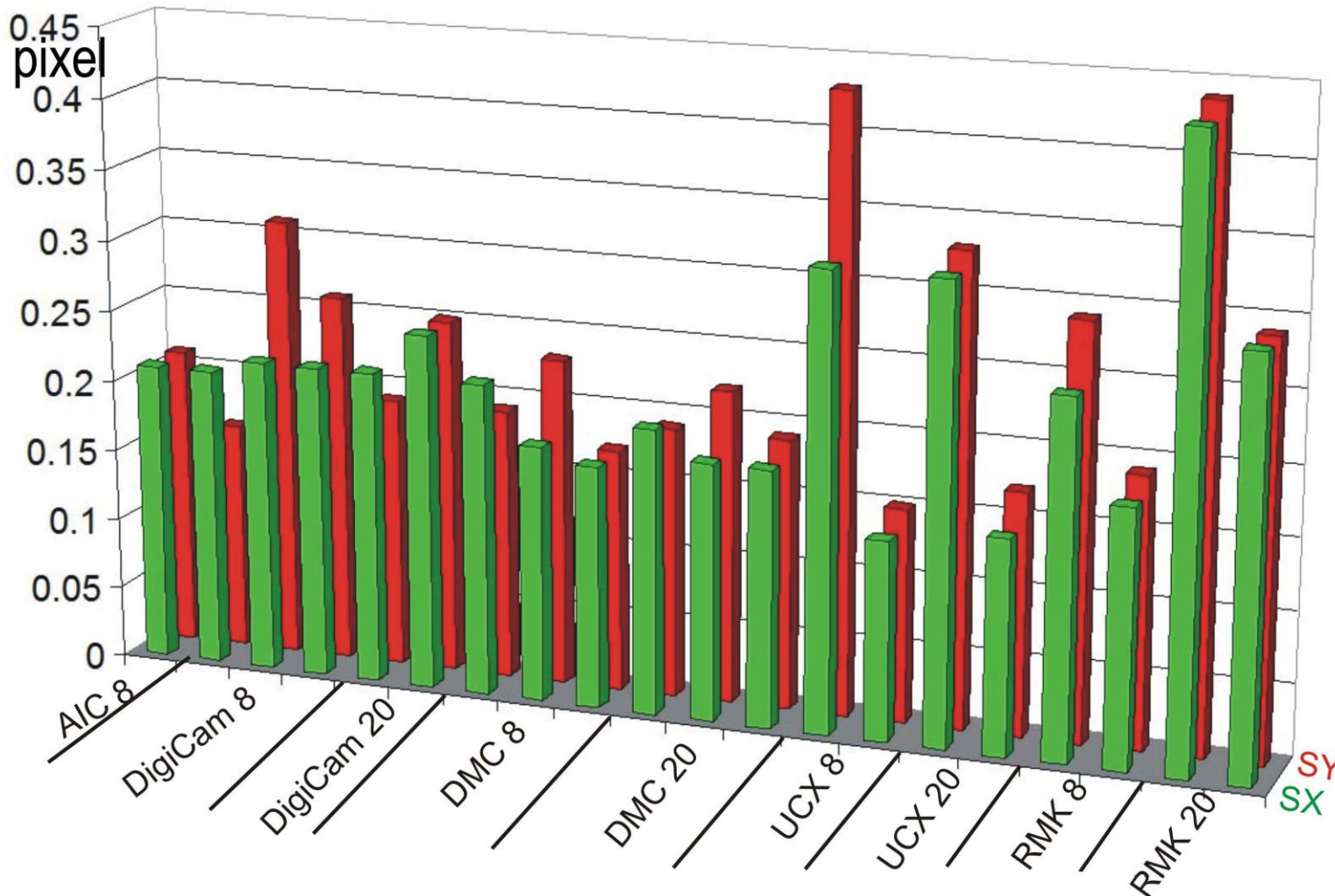
-durch **Bündelblockausgleichung**, **kombinierte Bündelblockausgleichung** mit Koordinaten der Projektionszentren bestimmt durch GPS, **integrierte Bündelblockausgleichung mit GPS und IMU-Daten**

Kamerasystem	Universität Hannover (UH)	Universität Stuttgart (US)	TU Graz (TUG)	TU Wien (TUW)	RAG Herne (RAG)
RMK	X	X	X	X	
DMC	X	X		X	
UltraCamX	X	X		X	
Quattro-DigiCAM	X	X	X		
ADS40	X	X			
JAS-150					X
AIC-x1	X	X			



# Genauigkeit der manuellen Messung von Bildkoordinaten der Pass- und Vergleichspunkte

Standardabweichung der Bildpunktmessung



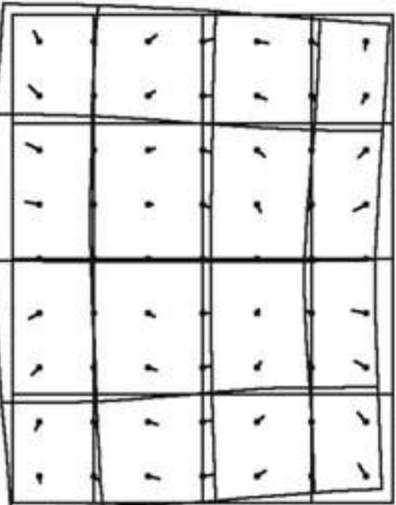
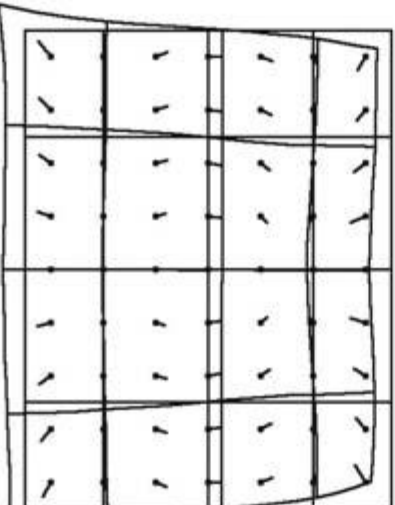
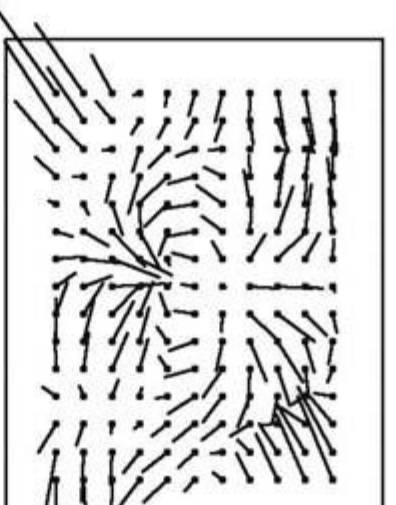
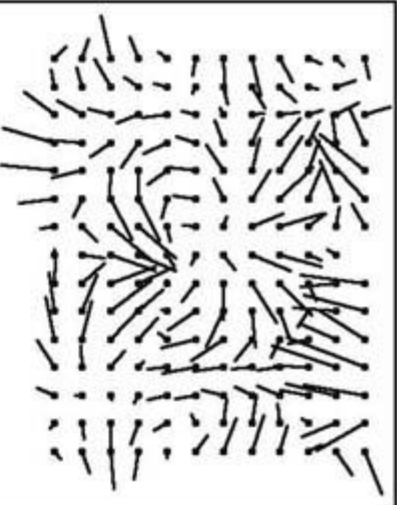
Quadratmittel der  
Widersprüche der  
manuellen  
Messungen durch  
jeweils 2  
Institutionen

$$/\sqrt{2}$$

8 → 8cm GSD  
20 → 20cm GSD



# Selbstkalibrierung durch zusätzliche Parameter (DigiCAM)

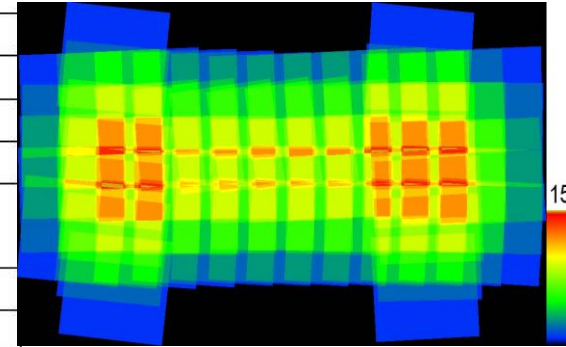
 <p style="text-align: right;">6µm</p>	 <p style="text-align: right;">6µm</p>	 <p style="text-align: right;">1µm</p>	 <p style="text-align: right;">1µm</p>
<p>Systematische Bildfehler, zusätzliche Parameter 1 – 12</p>	<p>Systematische Bildfehler, z.P. 1 – 12 + 81 – 88</p>	<p>Verbliebene systematische Bildfehler, z.P. 1 – 12</p>	<p>Verbliebene systematische Bildfehler, z.P. 1 – 12 + 81 – 88</p>

Zusätzliche Parameter 81 – 88 zur Erfassung und Berücksichtigung geometrischer Effekte in den Bildecken

Bildgeometrie verändert sich nicht innerhalb der Blöcke

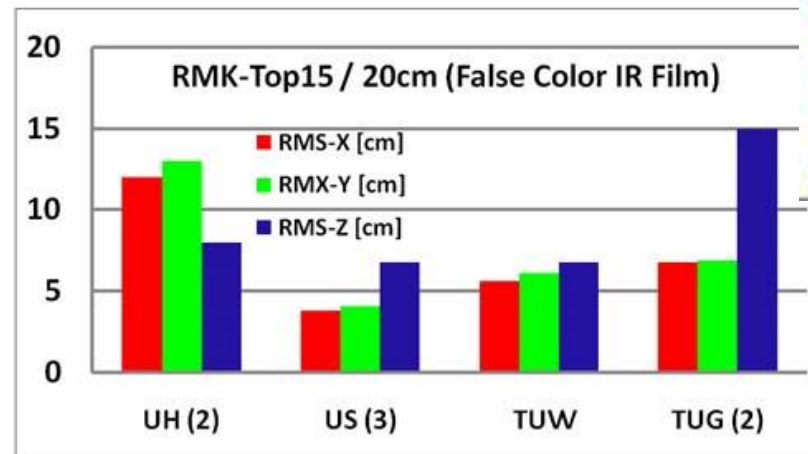
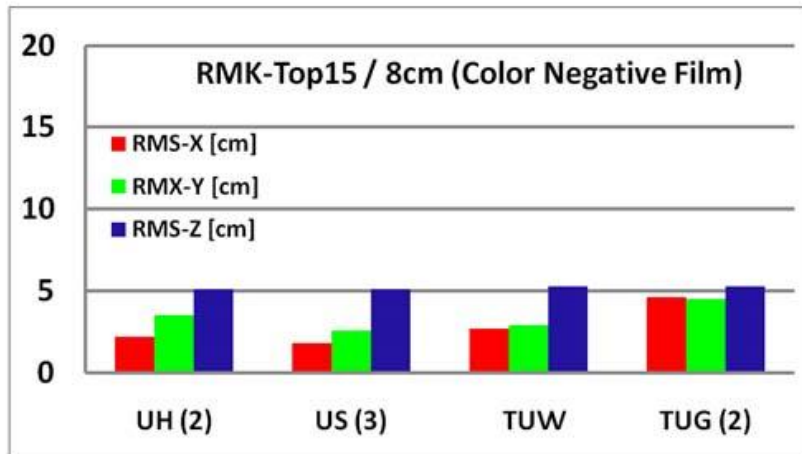
# Ergebnisse der Bündelblockausgleichungen – RMK TOP 15

p60 / p80	60% / 80% Längsüberdeckung	apE12	12 zusätzliche Parameter (Ebner)
q20	20% Querüberdeckung	apE16	12 Ebner + 2 radial + 2 tang.
cr0 / cr2	0 / 2 kreuzende Streifen	apG44	44 zusätzliche Parameter (Grün)
nDS	keine direkte Sensororientierung	apB12	12 zusätzliche Parameter (BLUH)
GPS	Kombinierte Ausgleichung mit GPS	apB20	(BLUH) apB12+Parameter 81–88
ISO	Integrierte Sensororientierung	apBN12	12 zus. Parameter (BINGO)
0ap	Keine Selbstkalibrierung	apBRs	Brown-Teil mit 5 Parametern



Bildüberdeckung 8cm GSD

74 Bilder, durchschnittlich 5.3 Bilder/Objektpunkt (8cm GSD)



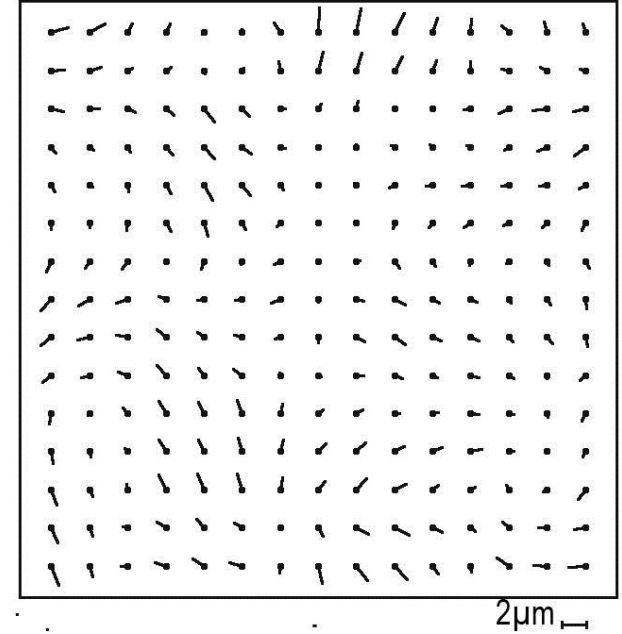
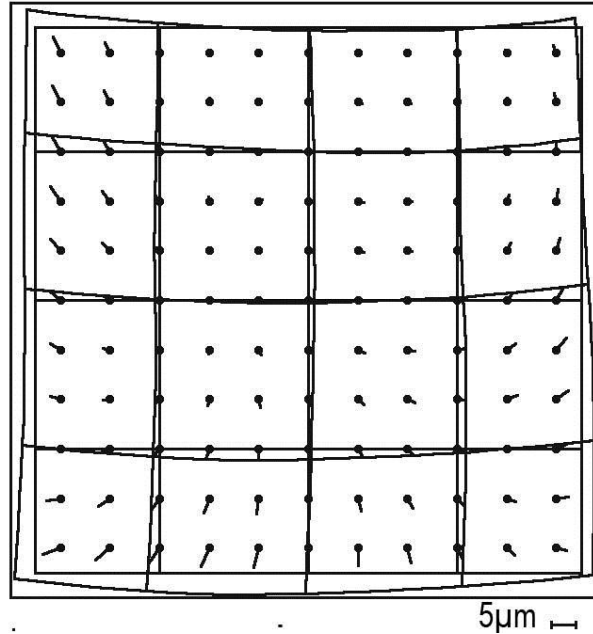
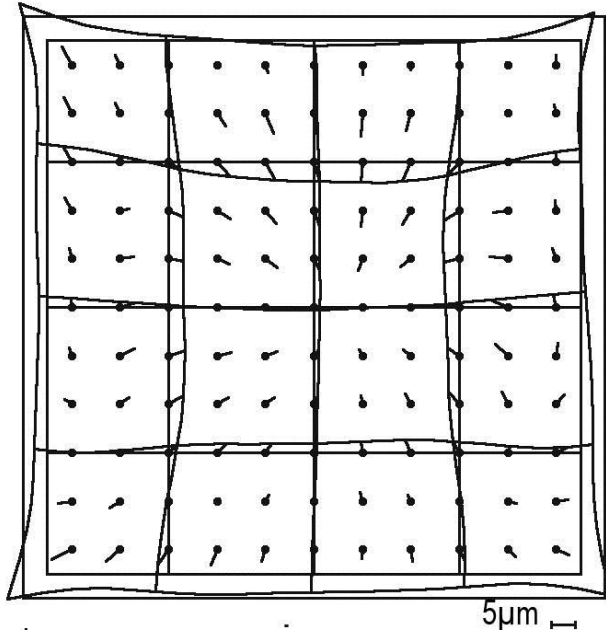
■ RMS-X [cm]  
■ RMX-Y [cm]  
■ RMS-Z [cm]

14 PP nDS apB12	14 PP nDS apG44	8 PP GPS apE 16	5 PP ISO apBRs
-----------------------	-----------------------	-----------------------	----------------------

14 PP nDS apB12	14 PP nDS apG44	8 PP GPS apE 16	5 PP ISO apBRs
-----------------------	-----------------------	-----------------------	----------------------



# Systematische Bildfehler – RMK TOP 15 - 8cm GSD



Systematische Bildfehler

nach Abzug der  
radialsymmetrischen  
Verzeichnung

verbliebene systematische  
Bildfehler

Quadratmittel = 0,21 Pixel  
3µm

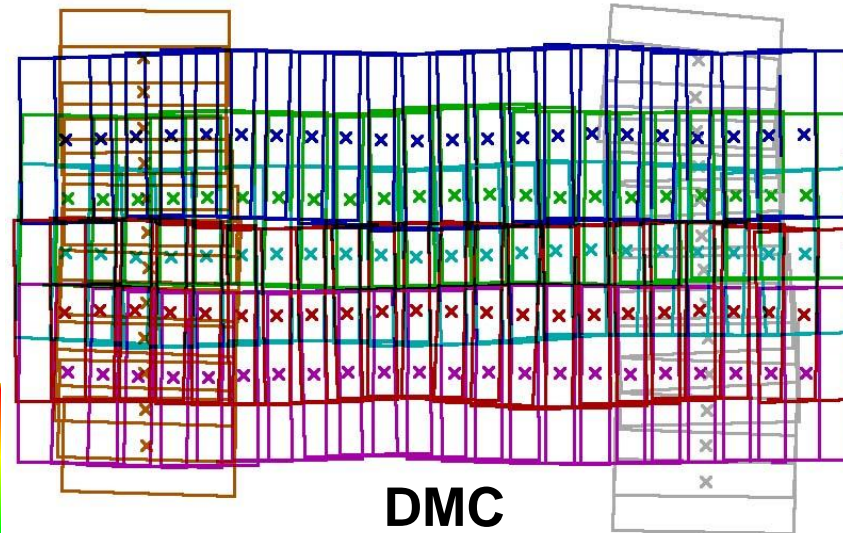
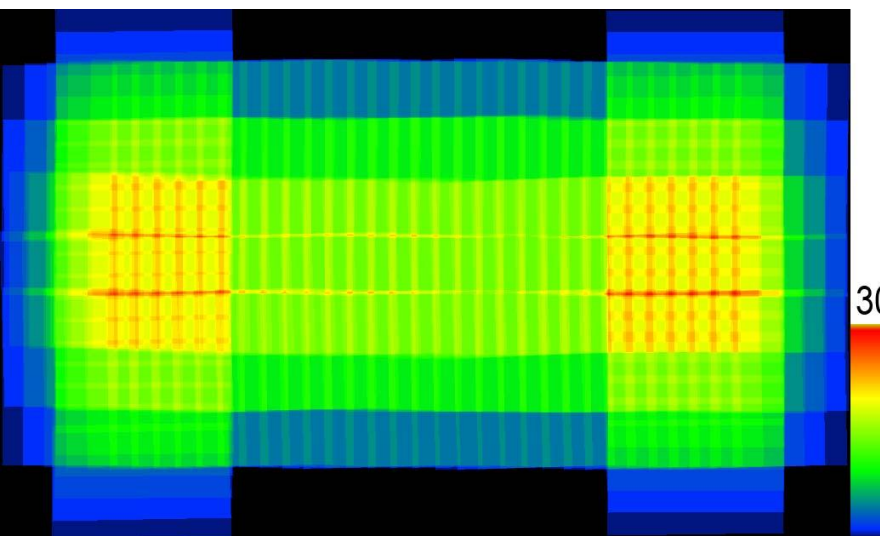
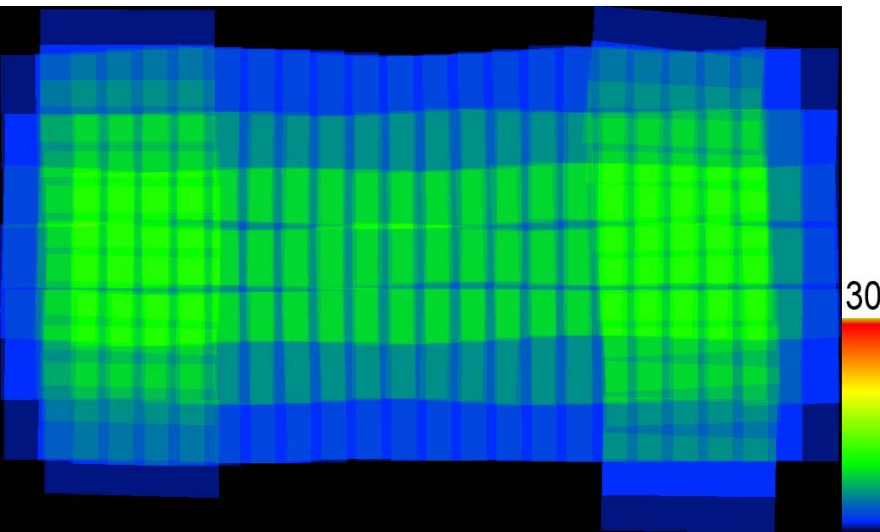
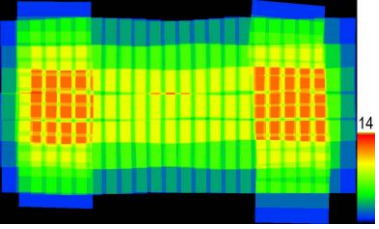
Quadratmittel = 0,14 Pixel  
2µm

Quadratmittel = 0,07 Pixel  
1µm

RMK TOP 15-Bilder mit 14µm Pixelgröße gescannt

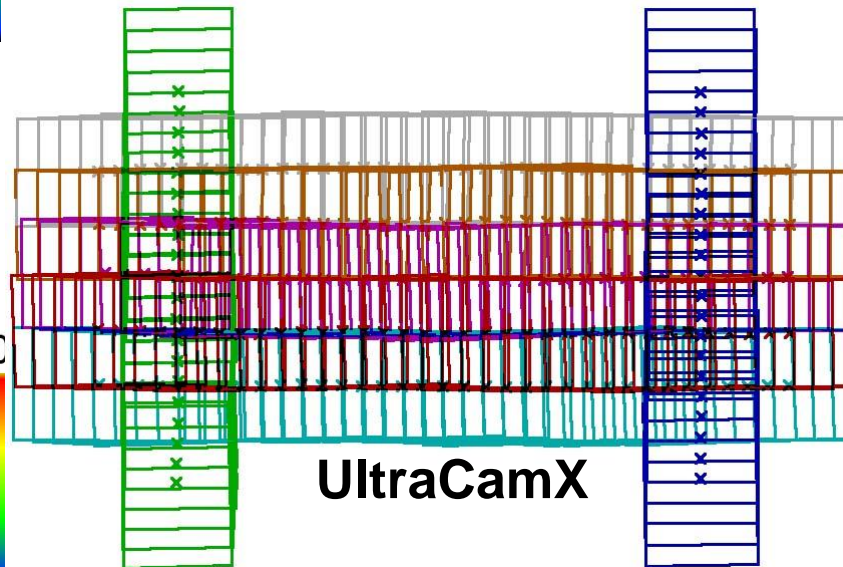


# Blockkonfiguration DMC & UltraCamX 8cm GSD



**DMC**

$p=60\%$   
 $q=60\%$   
135 Bilder  
durchschn.  
6,8 Bilder/Pkt

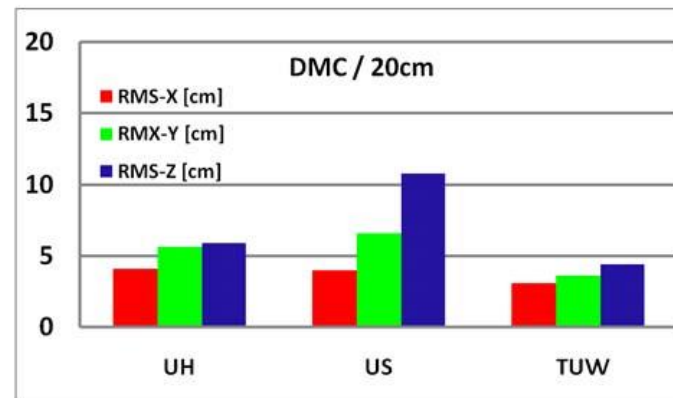
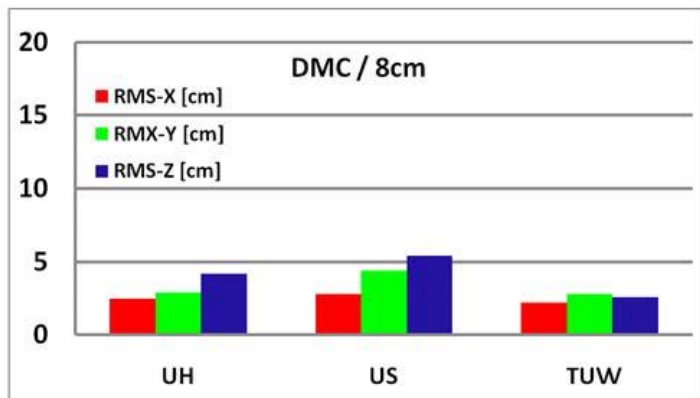


**UltraCamX**

$p=80\%$   
 $q=52\%$   
215 Bilder  
durchschn.  
10,6  
Bilder/Punkt



# Bündelblockausgleichungen – DMC & UltraCamX

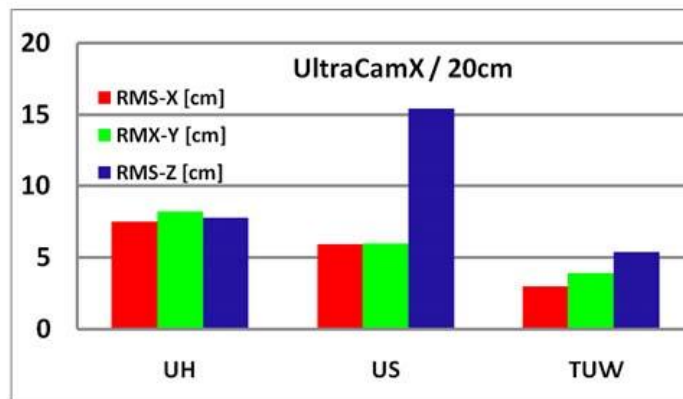
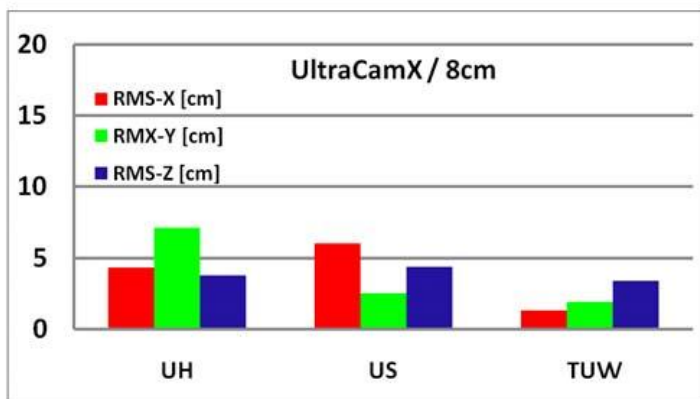


■ RMS-X [cm]  
 ■ RMX-Y [cm]  
 ■ RMS-Z [cm]

p=60%,  
q=60%

9 PP nDS apB12	4 PP ISO apG44, cr0	8 PP GPS apE16
----------------------	---------------------------	----------------------

9 PP nDS apB12	4 PP, ISO apG44, cr0	8 PP GPS apE16
----------------------	----------------------------	----------------------



p=80%,  
q=60%

9 PP nDS apB12	4 PP ISO apG44, cr0	8 PP GPS apE16
----------------------	---------------------------	----------------------

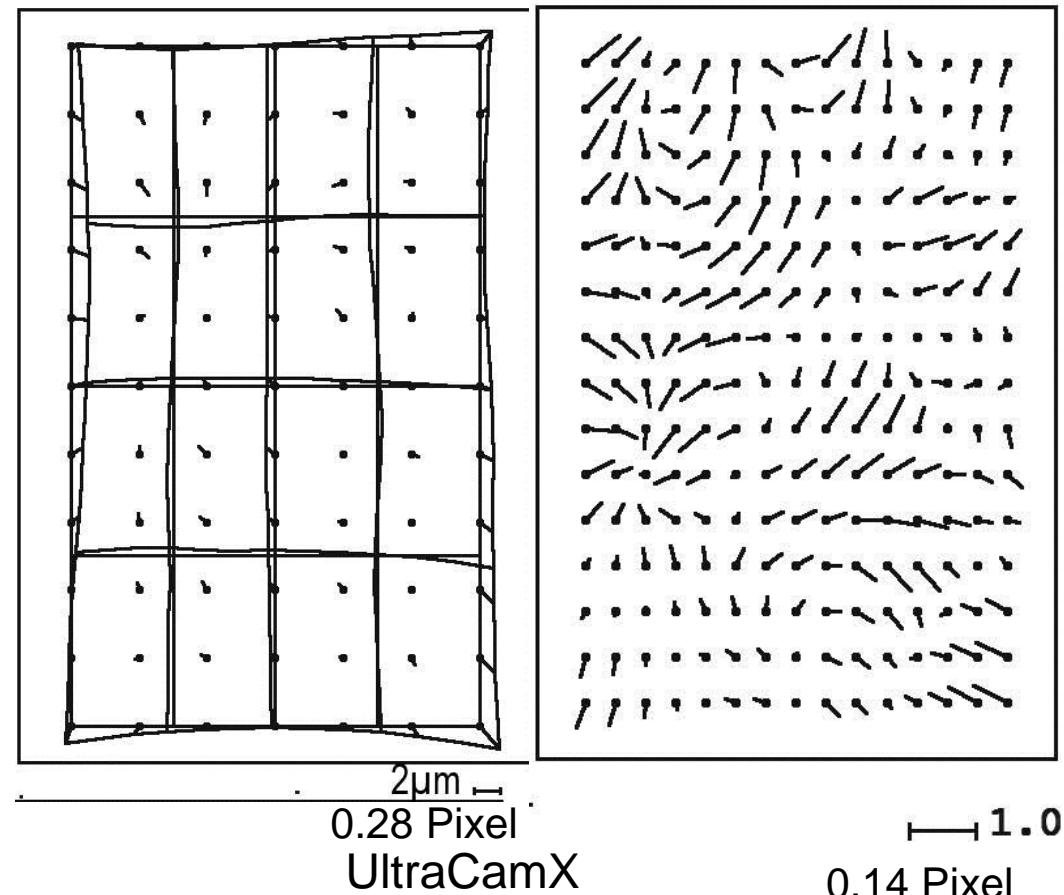
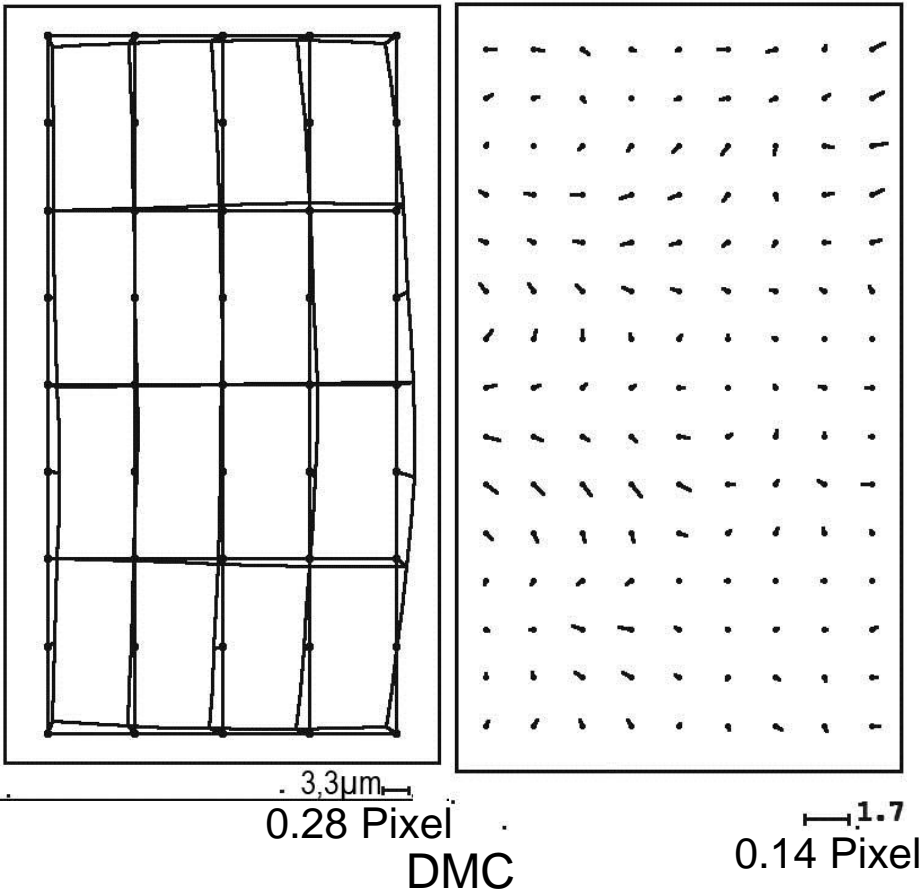
9 PP nDS apB12	4 PP ISO apG44, cr0	8 PP GPS apE16
----------------------	---------------------------	----------------------





# Systematische Bildfehler – DMC & UltraCamX

8cm GSD

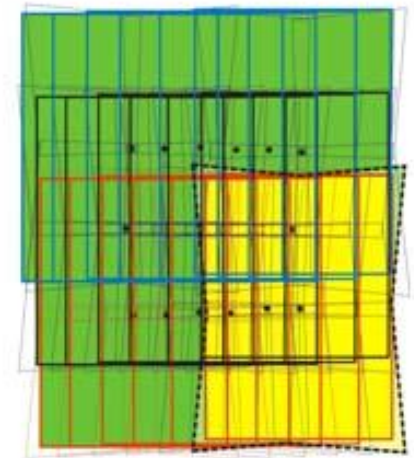
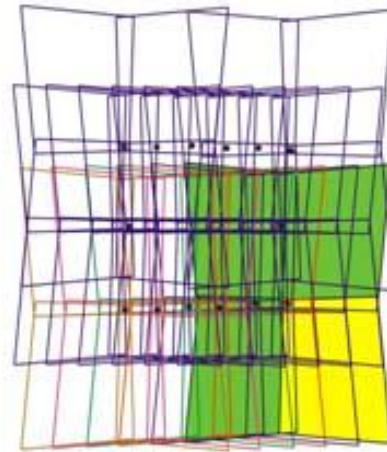
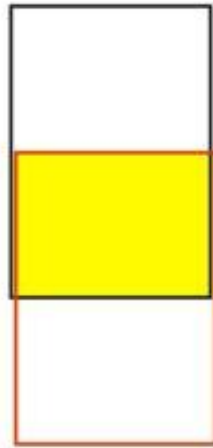


System. Bildfehler      verbleibende syst.B.  
 QM: 0,06 Pixel              0.04 Pixel  
 12µm Pixelgröße

System. Bildfehler      verbleibende syst.B.  
 0.16 Pixel                      0,10 Pixel  
 7.2µm Pixelgröße



## Überlappung und Bildverknüpfung einer Vierfach-Bildkombination



Verknüpfung einer Vierfach-Bildkombination und von virtuellen Bildern mit 60% System-Querüberdeckung

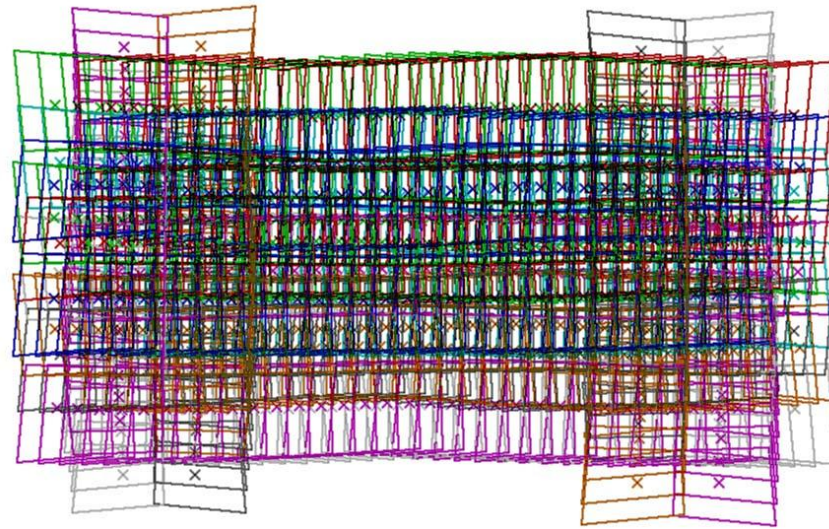
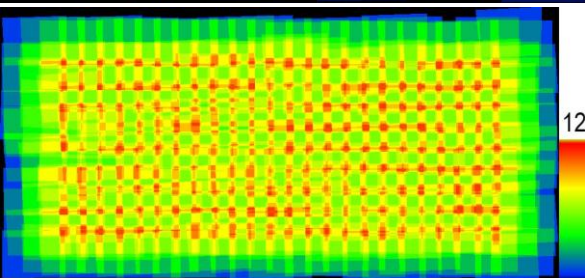
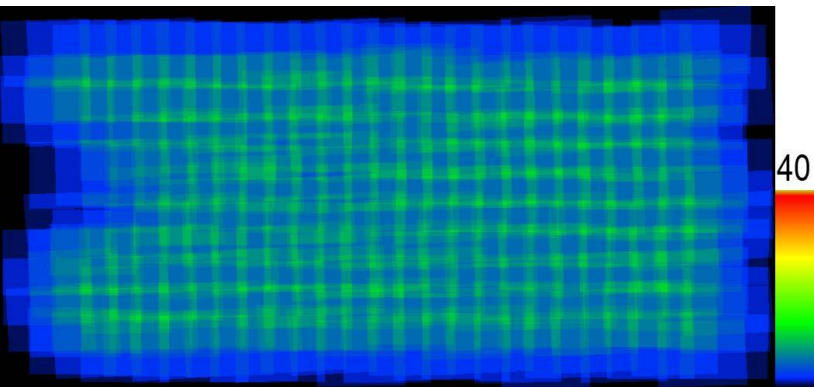
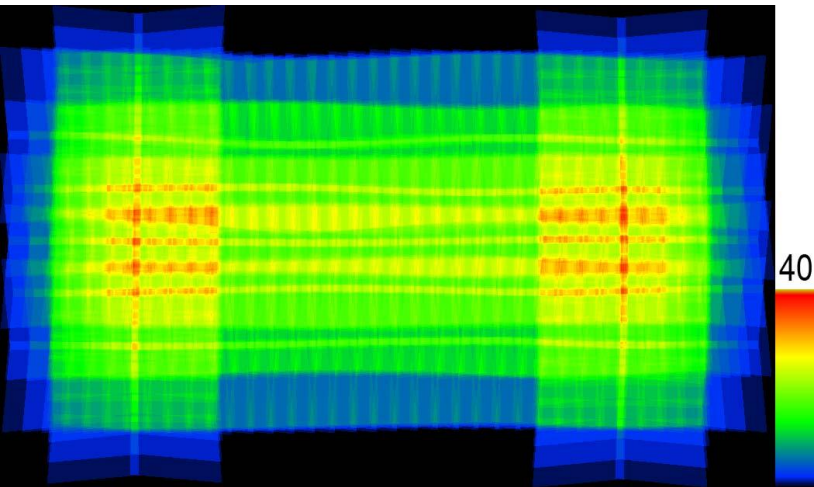
Verknüpfung einer Vierfach-Bildkombination mit 60% Längs- und 60% Querüberdeckung des Kamerasystems

Verknüpfung von virtuellen Bildern mit 60% Längs- und 60% Querüberdeckung des Kamerasystems

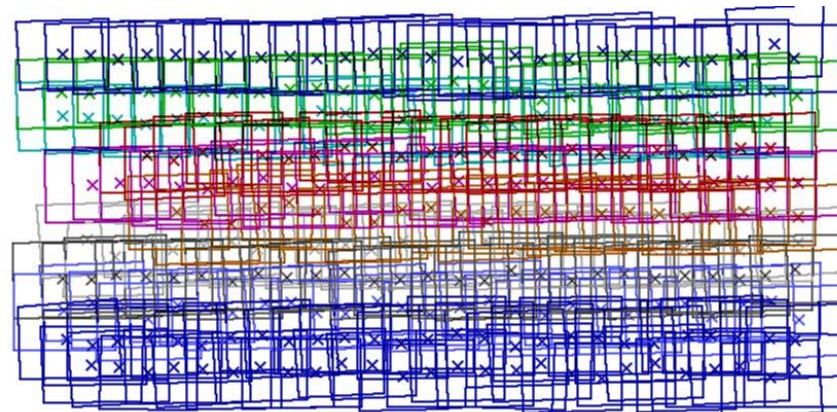
60% Querüberdeckung der Bilder des Kamerasystems wirken geometrisch nur wie 20% Querüberdeckung der Einzelbilder → **viele Passpunkte oder Nutzung von GPS und IMU**



# Blockkonfiguration DigiCAM & AIC-x1 8cm GSD



DigiCAM  
784 Bilder  
durchschn.  
6.9 Bilder/Pkt

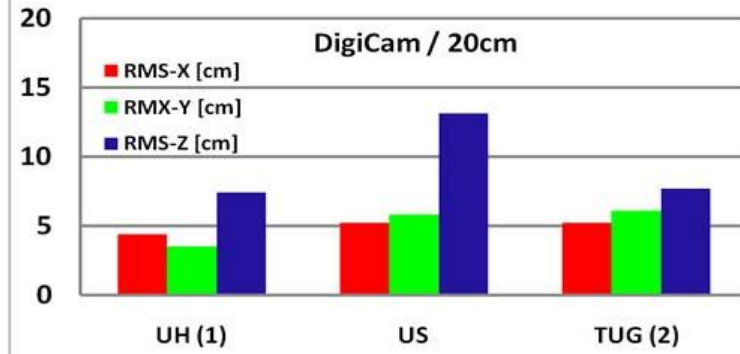
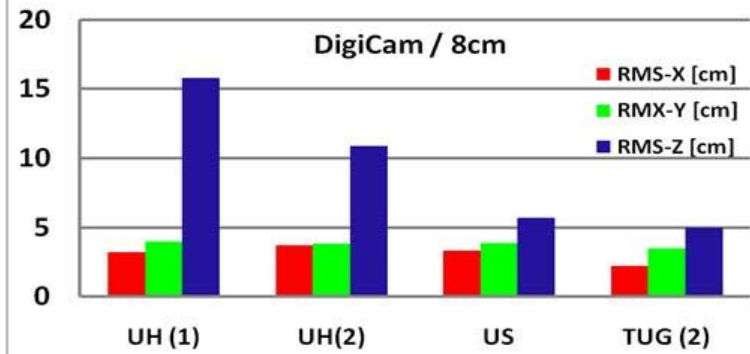


AICx1 297  
Bilder  
durchschn.  
3,2 Bilder/Pkt

Keine Querstreifen

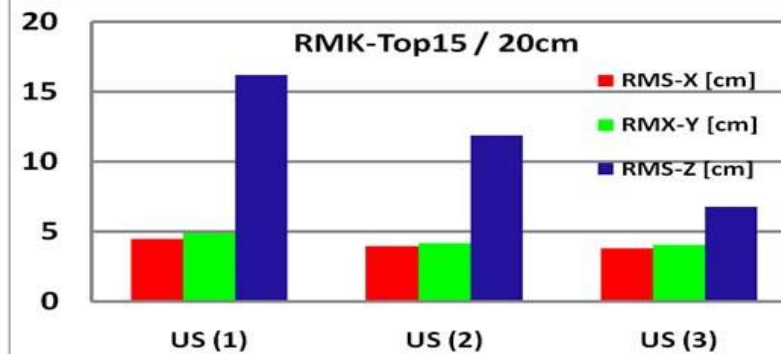
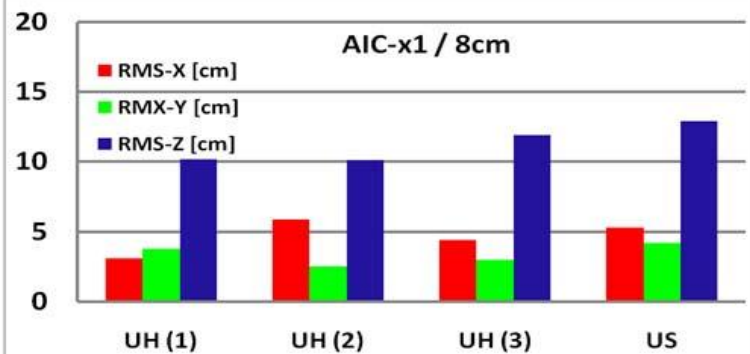


# Bündelblockausgleichungen – Quattro DigiCam & AIC-x1



10 PP apB12x4 nDS	10 PP apB20x 4 nDS	4 PP apE12X4 ISO, cr0	5 PP apBRs ISO
-------------------------	--------------------------	-----------------------------	----------------------

15 PP apB12x4 nDS	4 PP apE12X4 ISO, cr0	5 PP apBRs ISO
-------------------------	-----------------------------	----------------------



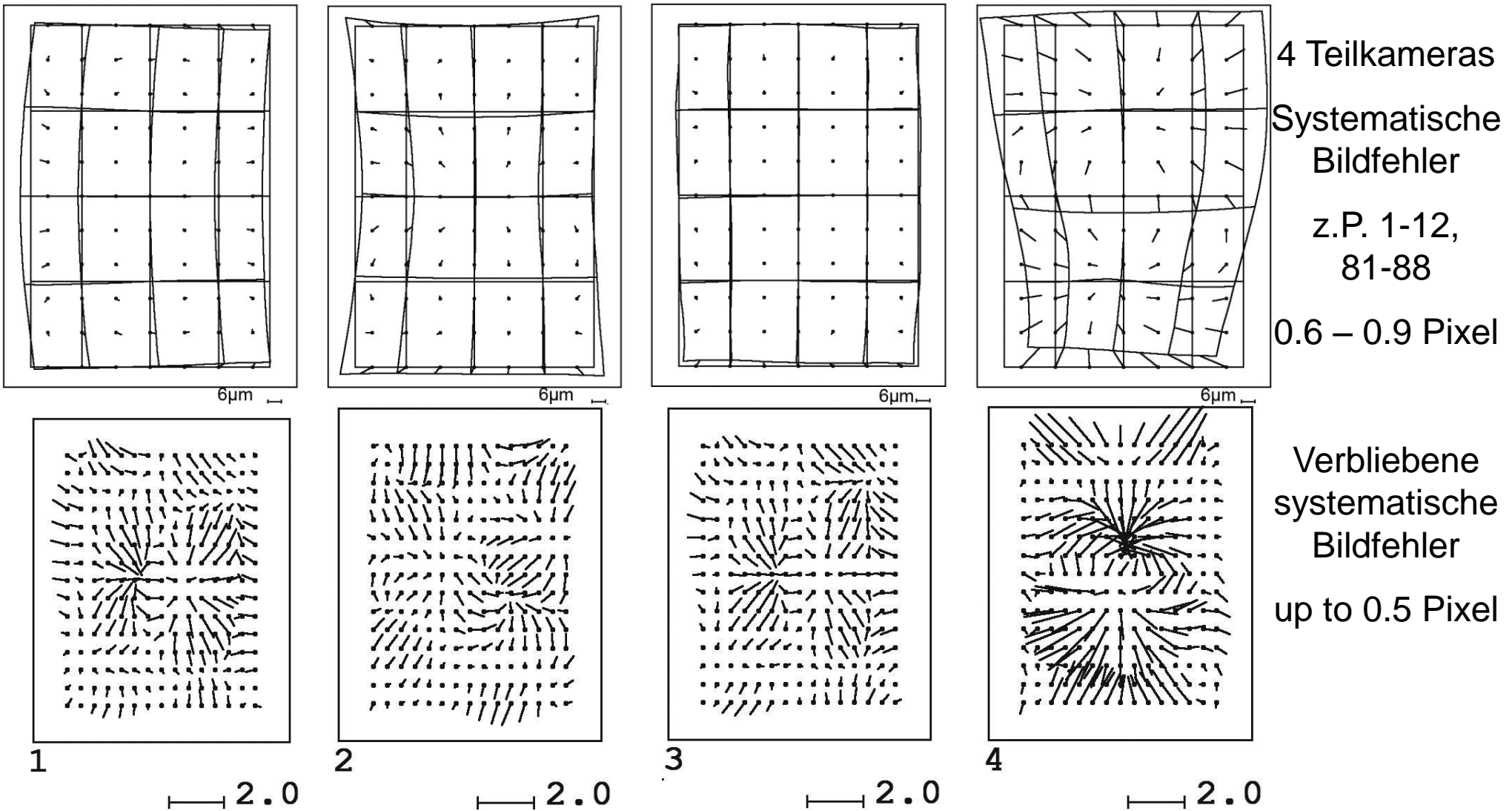
47 PP 0ap nDS	47 PP apB12 nDS	47 PP apB20 nDS	60 PP apG44 nDS
---------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

14 PP 0ap nDS	14 PP apE12 nDS	14 PP apG44 nDS
---------------------	-----------------------	-----------------------

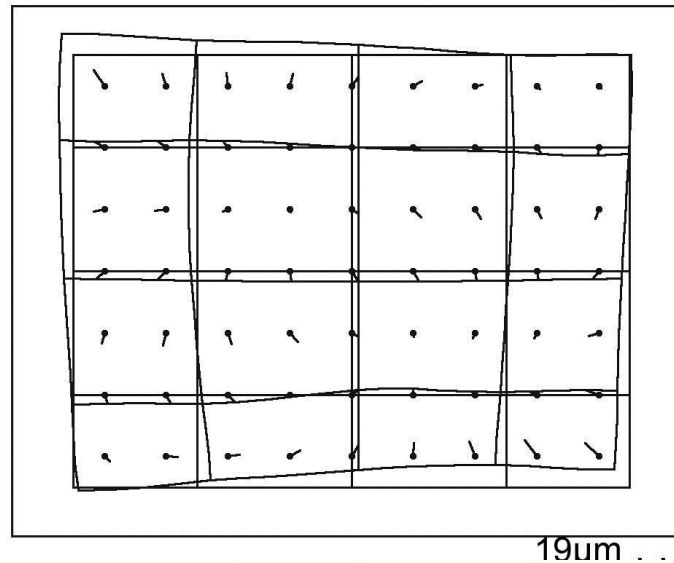
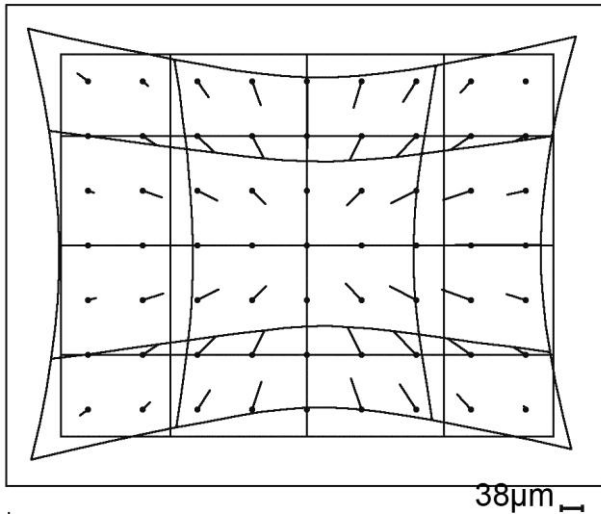
AIC-x3 wurde nur mit 8cm GSD geflogen



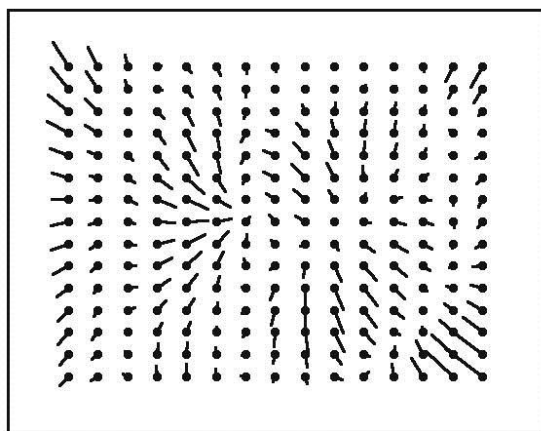
# Systematische Bildfehler Quattro DigiCAM 8cm GSD, zusätzliche Parameter 1-12, 81-88



# Systematische Bildfehler AIC-x1



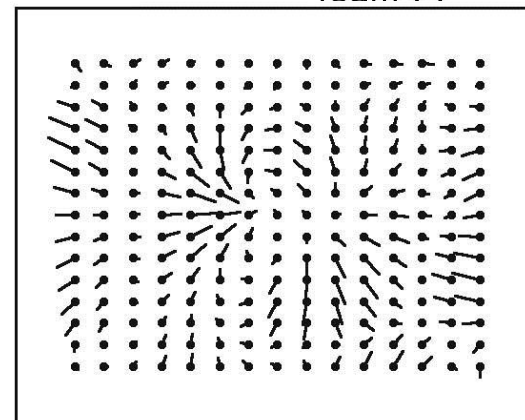
Systematische  
Bildfehler nach  
Abzug der  
radialsymmetrischen  
Verzeichnung



Verbliebene  
systematische  
Bildfehler  
  
zusätzliche  
Parameter  
BLUH 1-12

0.6 Pixel

5.0



Verbliebene  
systematische  
Bildfehler  
  
zusätzliche  
Parameter  
BLUH 1-12,  
81-88

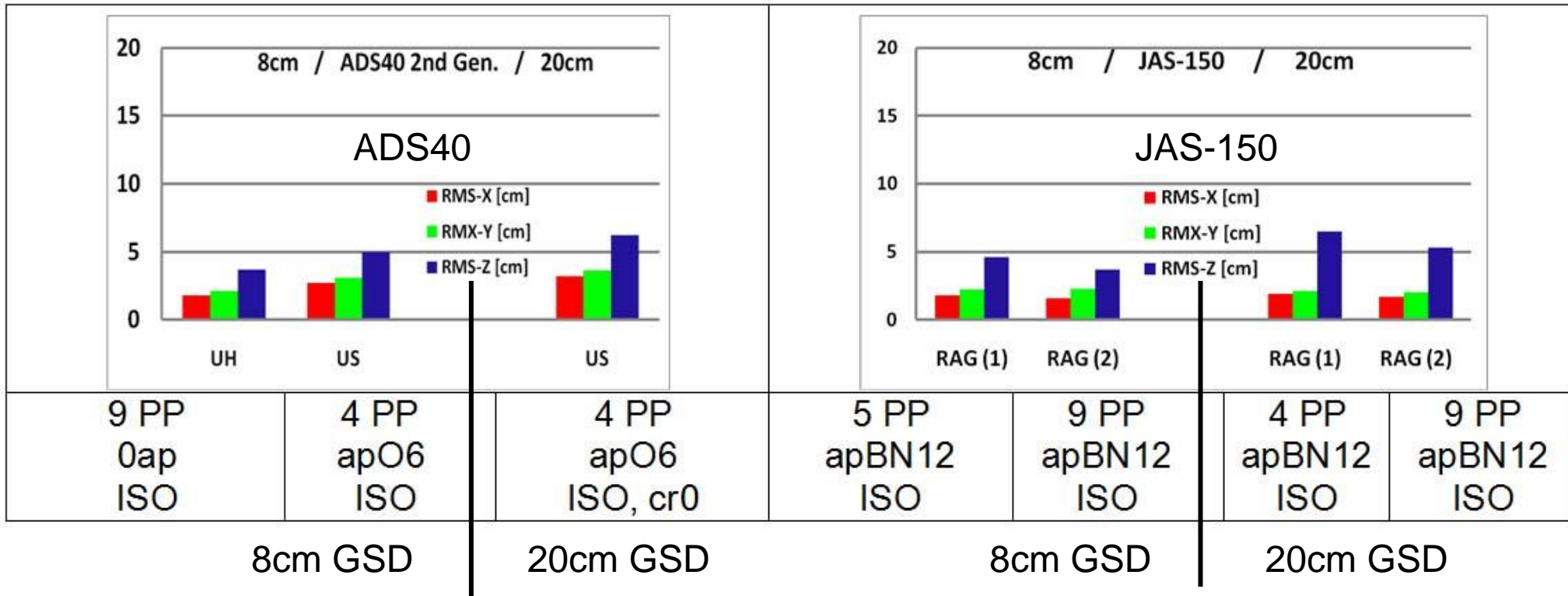
0.5 Pixel

5.0

6,8µm Pixel



# Bündelblockausgleichungen – ADS40 & JAS150



## Zusammenfassung, Schlussfolgerung

Es gibt keinen Grund weiterhin analoge Luftbildkameras zu verwenden – selbst mit der Weitwinkelkamera RMK Top 15 wurde unter vergleichbaren Bedingungen keine bessere Höhengenaugigkeit erzielt – schlechtere Bildqualität mit der RMK Top (negativ für 20cm GSD)

Mehrfachzeilenkameras ADS40 und JAS-150 führten zu guten Ergebnissen - die Handhabung der Datenerfassung und der Bildorientierung von Zeilenscannerkameras erfordert spezielle Programme, die nicht überall vorhanden sind

Die großformatigen digitalen Flächenkameras DMC und UltraCamX bestätigten ihr Potential

Die Kombination von Mittelformatkameras in der Quattro-DigiCAM erfordert GPS/inertial Daten

Die Mittelformatkamera AIC-x1 ist für spezielle Anwendungen von Bedeutung; die Auswertung ihrer Bilder ist allerdings zeitaufwändiger als die Auswertung mit größeren Bildformaten

Allgemein wurde eine Objektkoordinatengenaugigkeit kleiner als die Objektpixelgröße erreicht, besonders für die Lagekomponenten, aber auch in den meisten Fällen für die Höhe – das gilt für die Blockausgleichung, aber nicht für die Modellauswertung

systematischen Bildfehler sollten für die Modellauswertung benutzt werden

