

Potential neuer großformatiger digitaler Kameras

KARSTEN JACOBSEN

Zusammenfassung: Mit den neuen großformatigen digitalen Kameras DMC II 140, 230 und 250 hat sich das Potential der digitalen Kameras weiter verbessert und erlaubt eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit. Allerdings sollten die Spezifikationen der Kameras nicht ungeprüft für Projektplanungen verwendet werden um die Erfüllung der verlangten Genauigkeit und Objekterkennbarkeit garantieren zu können. Die Systeme müssen auf geometrische Genauigkeit und effektive Pixelgröße untersucht werden.

Anhand mehrerer Testfeldbefliegungen und eines operationellen Bildflugs wurden die genannten Systeme untersucht, womit eine Grundlage für Projektplanungen gegeben ist.

1 Einleitung

Digitale Luftbildkameras haben analoge Kameras weitgehend ersetzt. Die Vorteile der original digitalen Luftbilder gegenüber gescannten Fotos sind zu offensichtlich als dass noch Zweifel am Sinn des Einsatzes digitaler Kameras bestehen. Die Kapazität der digitalen Luftbildkameras hat erneut zugenommen. Mit der Z/I Imaging DMC II und der UltraCam Eagle stehen jetzt Kameras mit 250 bzw. 260 Mega Pixel zur Verfügung. Die Erhöhung der Pixelzahl wurde bei der DMC II durch sehr großformatige monolithische CCDs und bei der UltraCam Eagle durch weitere Verkleinerung der Pixel erreicht. Sehr großformatige CCDs stellen eine sehr hohe Anforderung an die Ebenheit der Sensoren und die Verkleinerung der Pixel bei den zusammengesetzten UltraCam-Bildern erhöhen relativ die geometrischen Probleme der Zusammensetzung der virtuellen Bilder. Aus diesen Gründen ist eine Untersuchung des geometrischen Potentials der neuen Kameras erforderlich. Um den Informationsgehalt der Bilder durch eine Verkleinerung der Pixel voll ausnutzen zu können sind entsprechend gute Optiken erforderlich. Eine Untersuchung der effektiven Pixelgröße ist deswegen eingeschlossen. Leider hat sich ein Testflug verzögert weswegen in die schriftliche Version die Ergebnisse der UltraCam Eagle nicht mit aufgenommen werden konnte. Die Kombinationen von Mittelformatkameras werden hier nicht betrachtet da sie nicht direkt mit den vorgenannten Kameras vergleichbar sind.

2 Technische Daten der neuen großformatigen Kameras

Die Versionen der DMC II basieren auf von DALSA neu entwickelten, sehr großformatigen CCD-Arrays von etwa 96mm x 82mm (Abb. 1). CCDs dieser Größe hatten zuvor eine eingeschränkte Qualität, lange Auslesezeiten oder Ausschussraten, die sie zu teuer machten. Die lithographische Herstellungsmaske für die CCDs ist für das Großformat nicht ausreichend weswegen der Waver schrittweise belichtet wird. Die Zusammensetzungsgenauigkeit der Einzelbelichtungen soll im Bereich von 0,1µm liegen (Stoldt 2010) und wäre dementsprechend vernachlässigbar. Im Gegensatz zu Z/I-Imaging hat Vexcel Imaging die CCD-Größe nicht verändert, sondern die Pixelanzahl vergrößert indem die Pixel verkleinert wurden. Diese unveränderte Technologie von Vexcel Imaging erfordert nach wie vor die geometrisch nicht unproblematische Zusammensetzung der Einzelbilder.

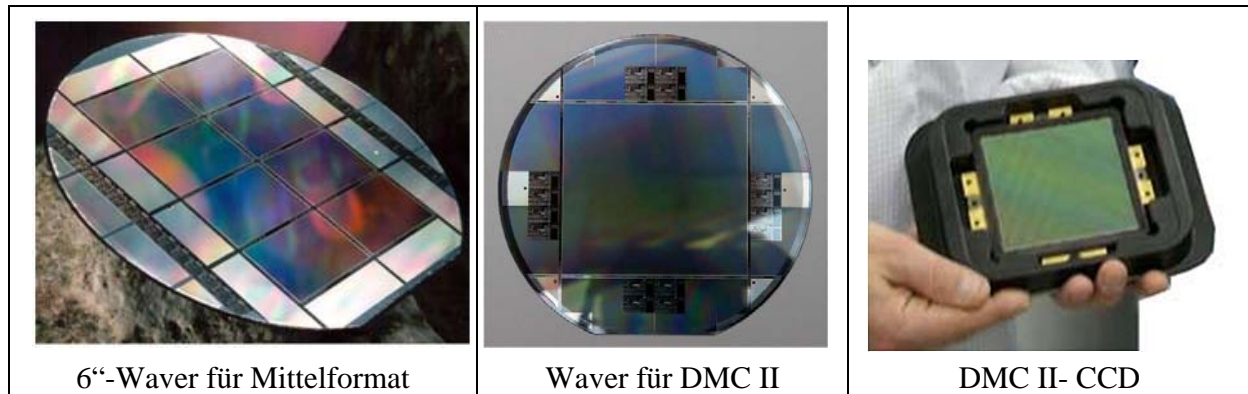


Abb. 1: Waver und CCD-Größe (STOLDT 2010)

Kamera	Pixelanzahl (Kamera)		Pixelgröße [µm]	f [mm]	Δt [sec]	Bildgröße [mm]		Pan/ms	Mega-pixel
	x	y				x	y		
DMC	7680	13824	12,0	120	2	49,15	86,02	1:4,6	106
DMCII 140	11200	12096	7,2	92	2	80,64	87,09	1:2,0	135
DMCII 230	14144	15556	5,6	92	1,7	79,21	87,11	1:2,5	220
DMCII 250	14656	17216	5,6	112	2,3	82,41	96,41	1:3,2	249
UC D	7500	11500	9,0	101,4	1	67,50	105,5	1:3,0	86
UC X	9420	14430	7,2	100,5	1,4	67,82	103,9	1:3,0	136
UC Xp	11310	17310	6,0	100	2	67,86	103,9	1:3,0	196
UC Eagle	13080	20010	5,2	80 / 210	1,8	68,02	104,1	1:3,0	261

Tab. 1: Technische Daten der DMC und der UltraCam-Versionen

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, hat sich das Format der virtuellen Bilder der UltraCam über die verschiedenen Versionen praktisch nicht verändert, das CCD-Format liegt nach wie vor bei etwa 24mm x 36mm und erfordert ein Stitching der 9 Teilbilder (LADSTÄDTER u.a. 2010). Das stitching basiert auf der Geometrie des grünen Farb-CCDs auf das die panchromatischen Teilbilder eingepasst werden, wodurch einige vorher aufgetretene Geometrie-probleme beseitigt wurden. Die Einpassung der 9 panchromatischen Teilbilder auf das um den Faktor 3,0 linear kleinere Farbbild ist allerdings auch nicht optimal.

Die monolithischen DMCII-CCDs zeigten keinerlei Tendenzen eines Einflusses der schrittweisen Belichtung der CCDs, die Herstellerangaben (STOLDT 2010) über die Genauigkeit scheinen somit realistisch zu sein. Da ein geometrischer Einfluss der Lage der einzelnen Pixel innerhalb eines CCDs bekanntermaßen keinen relevanten Einfluss hat, verbleibt, wie bei allen CCDs, ein Einfluss durch die Unebenheit, die auch durch thermische Deformation hervorgerufen oder verändert werden kann. Deformationen durch thermische Einflüsse sind vor allem zu erwarten, wenn die CCDs an mehreren Stellen am Kamerakörper fixiert sind, wie es bei einigen Mittelformatkameras der Fall ist. Durch die unterschiedliche Ausdehnung des Kamerakörpers und des Keramikträgers der CCDs kommt es dann zu Aufwölbungen der CCDs. Diese Einflüsse

sind zu untersuchen. Bei großen CCDs, wie sie für die DMCII-Versionen verwendet, ist eine Ebenheit innerhalb von 1µm praktisch nicht erreichbar sondern hat im Rahmen der Kamerakalibrierung bestimmt und berücksichtigt zu werden. Dieses setzt eine unveränderte 3D-Oberfläche der CCDs voraus. Die Kamerakalibrierung wird bei der Erstellung der DMCII-Farbbilder berücksichtigt, womit die verfügbaren Bilder weitgehend eine exakt perspektive Geometrie haben sollten.

3 Untersuchung der Kamerageometrie

Das Potential und die Genauigkeit der DMCII-Kameras wurden anhand von Testflügen und eines operationellen Bildfluges der Stadt Hannover untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchung der DMCII 140 wurden bereits in JACOBSEN 2011 publiziert. Die DMCII 140 und die DMCII 250 wurden mittels jeweils dreier Flughöhen und entsprechenden Objektpixelgrößen (ground sampling distance GSD) von etwa 5cm, 9cm und 15cm mit großer Bildüberdeckung untersucht. Bei der DMCII 230 beschränkte sich die Untersuchung von zwei Kameras auf jeweils einen Flug mit etwa 5,4cm GSD wie auch die Untersuchung einer zweiten DMCII 250. Mittels des Bildfluges Hannover, der 957 Bilder mit 7cm GSD umfasst, wurde die DMCII 230 zusätzlich verifiziert.

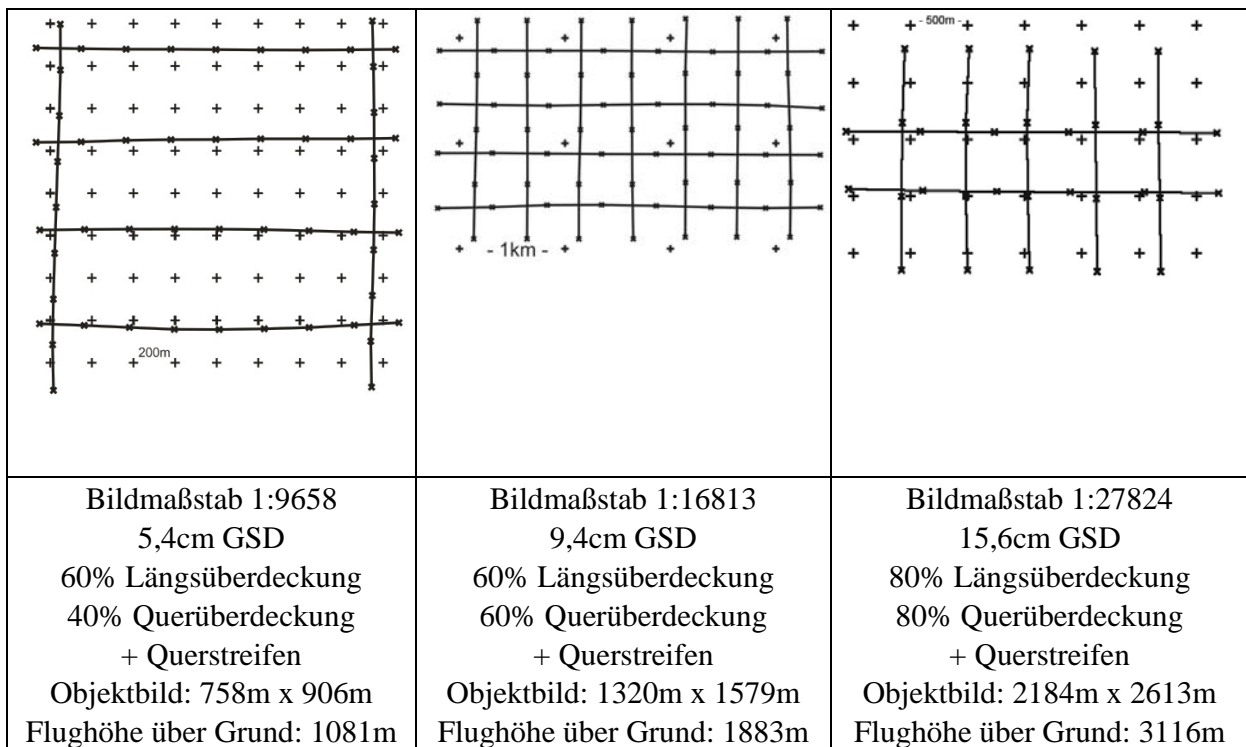


Abb. 2: Flugstreifen und Projektionszentren der Befliegungen mit der DMCII 250

Die Bildüberdeckungen und technischen Daten der DMCII 140-Testflüge sind ähnlich der Bildanordnung der Testflüge mit der DMCII 250 (Abb. 2). Dagegen wurde der Testblock mit der DMCII 230 nur mit 4 Ost-West-Flugstreifen und zwei Querstreifen befliegen. Wegen der

unterschiedlichen Kammerkonstanten sind die Flughöhen über Grund etwas voneinander abweichend.

Alle Testblöcke waren ähnlich stark verknüpft wie der in Tabelle 2 näher dargestellte Block der DMCII 250 mit 9,4cm GSD. Die Verteilung der Bild- und Objektpunkte, sowie die Bildverknüpfung dieses Blocks sind auch in Abb. 3 näher dargestellt. Alle Blöcke haben im Durchschnitt über 200 Bildpunkte je Bild, der operationelle Block sogar 744. Mit Ausnahme des operationellen Blocks sind die Bildpunkte in den Bildern ähnlich gleichmäßig verteilt wie in Abb. 3 dargestellt.

In Bild	25	102 Punkte = kleinste Anzahl										
In Bild	11	303 Punkte = größte Anzahl										
Anzahl der Bilder je Objektpunkt												
Bilder/Punkt:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Anzahl der Objektpunkte:	130	196	303	387	203	305	69	49	50	6	3	1
Maximale Anzahl Bilder/Punkt	:	12										
Objektpunkte	:	1572										
Bilder	:	32										
Summe der Bildpunkte	:	7124										

Tab. 2: Informationen über die Bildverknüpfung – DMCII 250, 9,4cm GSD

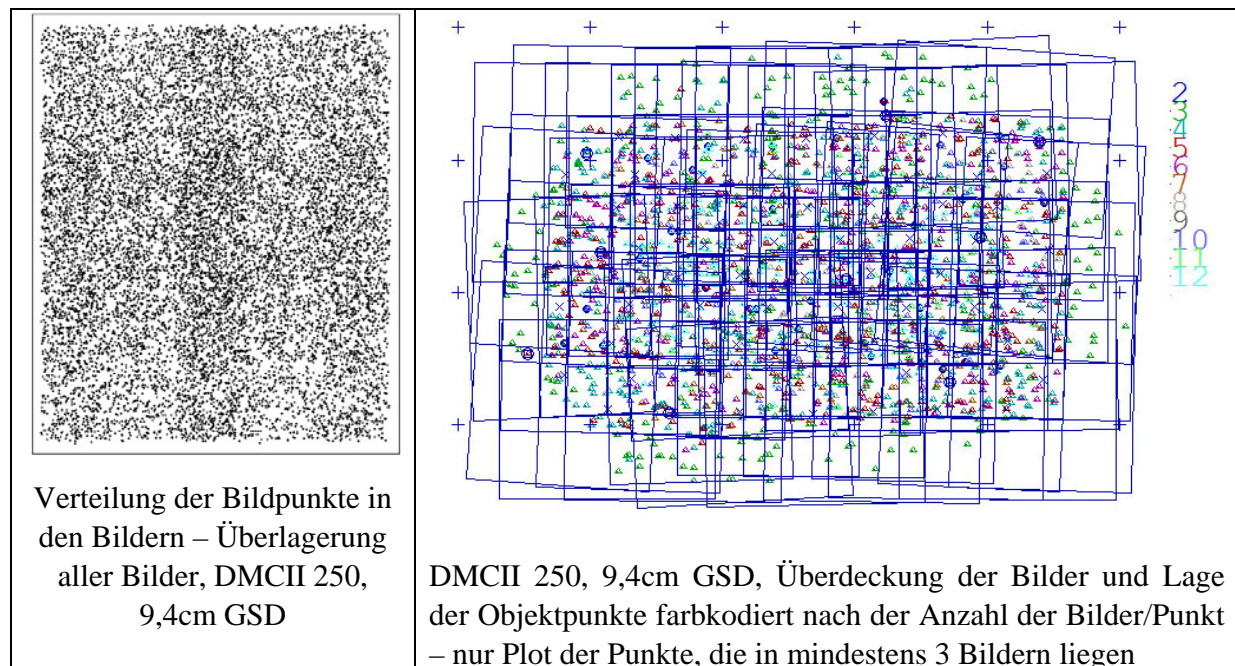


Abb. 3: Beispiel der Verteilung der Bildpunkte in den Bildern und Überblick über die Blockverknüpfung

Die Untersuchung der Kameras erfolgte mittels des Hannoverschen Blockausgleichungsprogrammsystems BLUH. Systematische Bildfehler wurden mit dem Standardsatz zusätzlicher Parameter (Parameter 1 – 12) und einer Gruppe von 8 zusätzlichen Parametern (Parameter 81 - 88), die besonders die Deformation der Bildecken modellieren können, berechnet (JACOBSEN et

al. 2010). Die spezielle Modellierung der Bildecken hatte sich besonders für Mittelformatkameras als notwendig herausgestellt. Zusätzlich zu der Bildgeometrie ließ sich die Objektpunktgenauigkeit mittels einer ausreichenden Anzahl von unabhängigen Vergleichspunkten bestimmen.

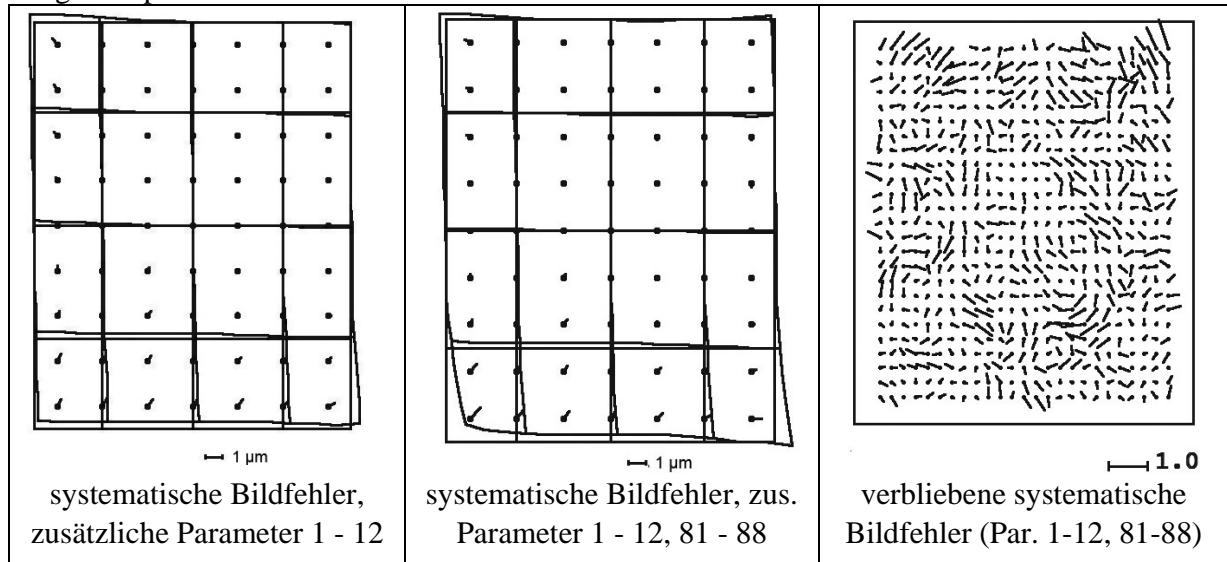


Abb. 4: systematische Bildfehler DMCII 250, 9,4cm GSD

Die durch Selbstkalibrierung mit zusätzlichen Parametern bestimmten systematischen Bildfehler (Abweichung der tatsächlichen Bildgeometrie vom Modell der Zentralperspektive) sind, wie aus Abbildung 4 und Tabelle 3 ersichtlich, für alle DMCII-Blöcke sehr klein. Durch die speziellen Parameter 81 - 88, die die Geometrie der Bildecken erfassen können, werden noch kleine Deformationen der Bildecken erfasst, die aber im gezeigten Beispiel 1,3µm nicht überschreiten. Aus der Analyse der Residuen lassen sich die nicht durch Selbstkalibrierung erfassten systematischen Bildfehler abschätzen (Abb. 4 rechts). Sie erreichen in obigem Beispiel, das typisch für die DMCII ist, im Quadratmittel 0,15µm und maximal 0,66µm.

	GSD	Zusätzliche Parameter 1 - 12			Zusätzliche Parameter 1 – 12, 81-88		
		Sx	Sy	Max	Sx	Sy	Max
DMCII 140	5,7cm	0,31	0,30	0,90	0,46	0,42	1,74
	9,5cm	0,22	0,18	0,60	0,15	0,16	0,84
	20,2cm	0,62	0,63	1,60	0,68	0,65	1,90
DMCII 230	5,4cm	0,19	0,11	0,50	0,13	0,18	0,90
	7cm	0,22	0,15	0,50	0,21	0,31	0,90
DMCII 250	5,4cm	0,23	0,37	0,90	0,23	0,37	0,90
	9,4cm	0,17	0,23	0,50	0,23	0,22	1,10
	15,6cm	0,13	0,16	0,50	0,14	0,42	1,80
	2/5,3cm	0,21	0,36	0,90	0,21	0,27	0,70

Tab. 3: Quadratmittel und maximale Beträge der systematischen Bildfehler [µm]

In der Regel sind die systematischen Bildfehler mit dem Standardsatz der zusätzlichen Parameter (1 – 12) etwas kleiner als mit dem erweiterten Ansatz (1 – 12, 81 – 88). Durch die Parameter 81 bis 88 können geometrische Abweichungen der Bildecken besser erfasst werden, wie aus dem Vergleich der Abbildungen 4 Mitte und 4 links ersichtlich. Diese systematischen Bildfehler sind aber insgesamt sehr klein und überschreiten selbst im Extremfall 0,34 Pixel nicht. Mit dem Standardsatz der zusätzlichen Parameter wird nur in einem Fall der Extremwert von 1,60µm erreicht. Das liegt in diesem Fall an einer kleinen radialsymmetrischen Verzeichnung. Ohne die radialsymmetrische Verzeichnung liegt der Maximalbetrag nur bei 0,5µm. Der operationelle Block (DMCII 230 mit 7cm GSD), der 957 Bilder enthält, liegt eher im unteren Niveau der Größe der systematischen Bildfehler. Er zeigt, dass die intern berücksichtigte Kamerakalibrierung der DMCII-Versionen auch über einen längeren Zeitraum zwischen Firmenkalibrierung und Bildflug stabil ist. Insgesamt sind die systematischen Bildfehler der DMCII-Versionen erheblich kleiner als für alle im Rahmen des DGPF-Kameratests untersuchten Kameras (JACOBSEN et al. 2010). Das bezieht sich auch auf die radialsymmetrische Verzeichnung, die bei anderen Kameras deutlich von der Flughöhe, entsprechend der Temperatur, abhängig ist. Die hervorragende geometrische Stabilität der DMCII-Versionen wirkt sich auch auf den Unterschied der Blockausgleichsgenauigkeit mit und ohne Selbstkalibrierung aus.

4 Genauigkeit der Objektpunkte

Die mittels Blockausgleichung an unabhängigen Vergleichspunkten erzielten Objektkoordinatengenauigkeiten sind in der Regel schwierig miteinander zu vergleichen da sie meist von der Genauigkeit und Identifizierbarkeit der Pass- und Vergleichspunkte sowie der Anzahl und Verteilung der Passpunkte abhängen. Aussagekräftig sind dagegen die relativen Vergleiche innerhalb des gleichen Testfeldes bei ähnlicher Objektpixelgröße.

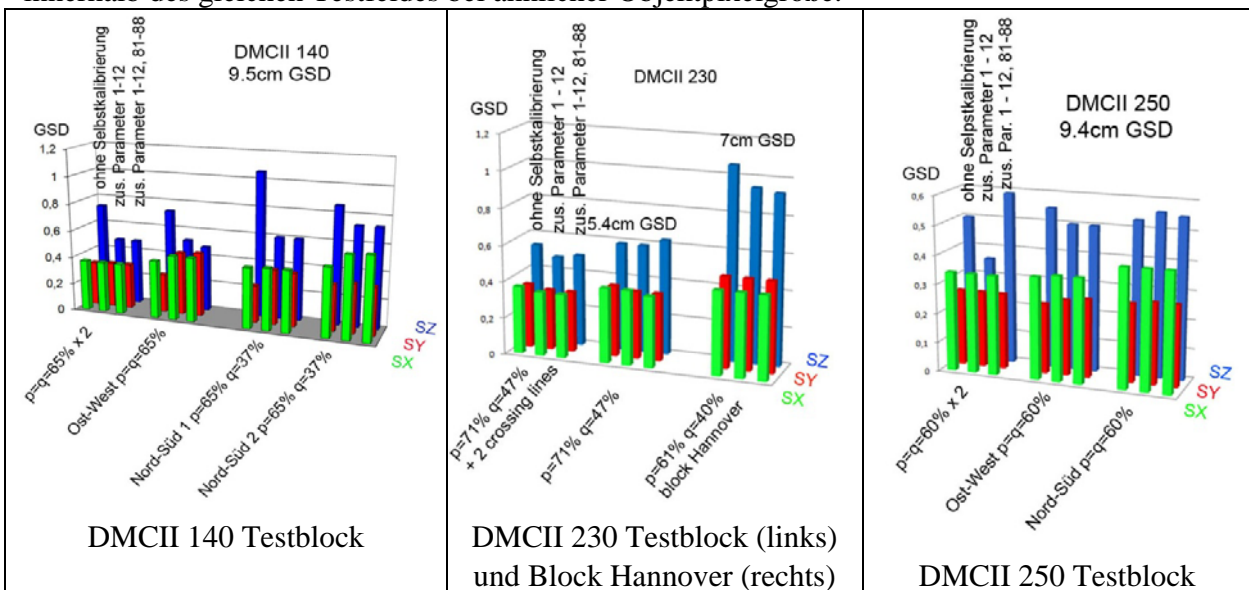


Abb. 5: Quadratmittel der Widersprüche unabhängiger Vergleichspunkte [GSD]
 p = Längsüberdeckung, q = Querüberdeckung

Die in Abb. 5 dargestellten Ergebnisse basieren auf Ausgleichungen mit jeweils etwa 9 Passpunkten, nur im Fall des Blocks Hannover war eine deutlich höhere Anzahl von Passpunkten erforderlich. Die mit dem Block Hannover erzielte Genauigkeit (Quadratmittel der Widersprüche an unabhängigen Vergleichspunkten) liegen nicht auf dem gleichen Niveau wie die der Testblöcke, was auf eine beschränkte Genauigkeit der Pass- und Vergleichspunkte des Praxisblocks Hannover zurückzuführen ist. Generell führt der erweiterte Ansatz der zusätzlichen Parameter (81 – 88), der die Geometrie der Bildecken besser modellieren kann, nicht zu einer Verbesserung der Objektkoordinaten. Die systematischen Bildfehler werden damit zwar besser erfasst, wegen des kleinen Betrags wirkt sich das aber nicht auf die Objektkoordinaten aus. Für die Verbesserung der Höhengenaugkeit ist eine Ausgleichung mit dem Standardsatz der zusätzlichen Parameter sinnvoll, führt aber wegen der kleinen systematischen Bildfehler nicht in jedem Fall zu besseren Standardabweichungen der unabhängigen Vergleichspunkte. Die Lagegenauigkeit wird praktisch von der Selbstkalibrierung nicht beeinflusst. Die nicht dargestellten Ergebnisse der anderen Objektpixelgrößen bestätigen den Trend der gezeigten Ergebnisse. Generell liegt die empirische Standardabweichung der Höhenkomponente auch für Blöcke mit einfacher Überdeckung unter einem GSD. Auch für den etwas schmaleren Bildwinkel der DMCII 250 der zu einem Basis-Höhenverhältnis bei $p=60\%$ von 1:3,4 statt 1:2,9 bei der DMCII 230 führt, wurden praktisch die gleichen Höhengenaugkeiten erzielt wie mit den beiden anderen DMCII-Versionen.

5 Bildqualität

Die nominelle Pixelgröße muss nicht mit der für die Bildqualität wirksamen Pixelgröße übereinstimmen (Jacobsen 2008). Je kleiner die Pixel sind und je größer die Blendenzahl (kleinere Optik), desto kritischer wird die tatsächliche Bildqualität. Die DMCII begrenzt diese Probleme mit der großen Optik. Trotzdem sollte die wirksame Pixelgröße durch Kantenganalyse untersucht werden.

Kamera	blau	grün	rot
DMCII 230	0,98	0,97	0,98
DMCII 250	0,87	0,88	0,84

Tab. 4: Faktor für effektive Pixelgröße bestimmt durch Kantenganalyse

Eine plötzliche Helligkeitsänderung im Objektraum, wie sie bei Schatten oder Gebäuden auftritt, wirkt sich im Bildraum mit einer kontinuierlichen Grauwertänderung aus. Eine Differenzierung des Grauwertprofils im Bild führt zur Punktverbreitungsfunktion (point spread function). Die Punktverbreitungsfunktion ist theoretisch eine Gaußfunktion. Aus der Breite der Funktion ergibt sich der Faktor für die effektive Pixelgröße. Der Faktor multipliziert mit der tatsächlichen Pixelgröße ergibt die effektive Pixelgröße. Dementsprechend bedeutet der Faktor 1,0, dass die tatsächliche Pixelgröße mit der nominellen übereinstimmt. Ein größerer Faktor bedeutet, dass das Bild eine schlechtere radiometrische Qualität hat als es der nominellen Größe entspricht. Ein

Faktor kleiner als 1,0 sollte nicht auftreten, es sei denn, dass das Bild kontrastverstärkt wurde und ein niedriges Signal-Rausch-Verhältnis hat. Leicht verrauschte Bilder sind durch Kontrastverstärkung nicht zu verbessern. Die Werte in Tabelle 4 bedeuten somit, dass die untersuchten Bilder der DMCII 230 und der DMCII 250 radiometrisch einwandfrei sind und der nominellen Pixelgröße entsprechen. Es wurden die für den praktischen Gebrauch zur Verfügung stehenden Farbbilder untersucht, die aus der Fusion der niedriger aufgelösten Farbkanäle mit dem hochaufgelösten panchromatischen Bild entstehen. Da diese fusionierten Bilder vom panchromatischen Kanal dominiert werden, ist es nicht verwunderlich, dass die in Tabelle 4 gezeigten Werte für die Farbkanäle derselben Kamera gut übereinstimmen. Es zeigte sich keine Abhängigkeit der Faktoren von der Lage der untersuchten Kanten im Bild, speziell dem radialen Abstand vom Bildzentrum.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Alle untersuchten Bildverbände der drei DMCII-Versionen zeigen systematische Bildfehler die deutlich kleiner sind als bei allen von mir vorher untersuchten Kameratypen. Damit ist das Problem nicht berücksichtigter systematischer Bildfehler bei der Einzelmodellauswertung gelöst, sie können einfach ignoriert werden.

Die durch Blockausgleichung ermittelten Objektkoordinaten haben selbst für die kritische Höhenkomponente bei Verbänden mit einfacher Bildüberdeckung Standardabweichungen unter einer Objektpixelgröße.

Die radiometrische Bildqualität der DMCII-Bilder ist einwandfrei, die für die Bildqualität wichtige effektive Pixelgröße entspricht der nominellen.

7 Literaturverzeichnis

- JACOBSEN, K., 2008: Sagt die Anzahl der Pixel alles? DGPF Jahrestagung Oldenburg 2008
- JACOBSEN, K., 2009: Effective resolution of digital frame images, ISPRS Hannover Workshop 2009, IntArchPhRS. Vol XXXVIII-1-4-7/W5
- JACOBSEN, K., CRAMER, M., LADSTÄDTER, R., RESSL, C., SPRECKELS, V., 2010: DGPF project: Evaluation of digital photogrammetric camera systems - geometric performance. PFG 2010 (2), pp 85 - 98
- JACOBSEN, K., 2011: Geometric Property of Large Format Digital Camera DMC II 140, PFG 2011/2, pp 71 –79
- LADSTÄDTER, R., GRUBER, M. & WIECHERT, A., 2010: Monolithic Stitching: One sensor geometry for multiple sensor camera. ASPRS 2010 Annual Conference San Diego
- STOLDT, H., 2010: DALSA Ultra large CCD technology Customized for Aerial Photogrammetry, Vortrag bei ASPRS annual convention 2010, San Diego