

DGPF Projekt: Evaluierung digitaler photogrammetrischer Kamerasysteme – Themenschwerpunkt Stereoplotting

VOLKER SPRECKELS, ANDREAS SCHLIENKAMP¹

Zusammenfassung: Dieser Beitrag entstand im Rahmen des DGPF-Projektes „Evaluierung digitaler Luftbildkameras“ und behandelt die Auswertungen der Arbeitsgruppe „Stereoplotting“. Es wurden bei der RAG Aktiengesellschaft die stereophotogrammetrischen Auswertungen der Bilddaten der Reihemesskammer Zeiss RMK Top 15, der beiden großformatigen Flächensensorkameras Vexcel Imaging UltraCamX und Intergraph/ZI DMC sowie der Mittelformatkamera IGI Quattro DigiCAM und der großformatigen Mehrzeilenkamera Leica ADS40 (2nd Generation) untersucht. Dazu wurden die persönliche Einstellgenauigkeit in den jeweiligen Bilddatensätzen ermittelt, die stereophotogrammetrischen Messungen zu Passpunkten, topographischen Punkten und Linienmessungen in den Bilddatensätzen miteinander und zu den Soll-Koordinaten der terrestrischen Passpunktmessung verglichen. Am Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung der Freien- und Hansestadt Hamburg erfolgten Stereoauswertungen in DMC Datensätzen, die mit den Auswertungen der RAG verglichen wurden. Alle Vergleiche zeigen, dass die Auswertungen sehr stark durch die an den unterschiedlichen Bildflugzeitpunkten vorherrschenden Wetterbedingungen geprägt sind. Damit ist die Bewertung der einzelnen Kamerasysteme erschwert und eine möglichst objektive Beurteilung kann somit nur über die Bestimmung der persönlichen Einstellgenauigkeit sowie über die Ermittlung identischer Punkte in den Auswertungen der unterschiedlichen Bildflüge erfolgen. Bei den Vergleichen der ADS40 Bildmessungen wurden systematische Abweichungen in der Größenordnung von ½ Pixel festgestellt, welche auf die Lage des Pixelursprungs (linke obere Ecke, Pixelmitte) der bereitgestellten Bilddaten zurückzuführen sind. Die Auswertungen mit der Quattro DigiCAM sind in Teilbereichen durch hohe systematische Bildfehler aufgrund eines defokussierten Kamerakopfes beeinträchtigt. Die Höhenmessungen mit dem NuVision Stereovorsatz lagen etwa um 1 Pixel höher als bei Messungen mit dem PLANAR-System.

1 Einleitung

In der Auswertegruppe „Stereoplotting“ soll das Potenzial der digitalen Luftbildkameras zur Erstellung von topographischen Auswertungen, Lageplänen, Digitalen Geländemodellen (DGM) und auch für 3D-Gebäudemodelle ermittelt werden (s. Abb. 1). Es liegen die Ergebnisse der RAG Deutsche Steinkohle (RAG) und des Landesbetriebes Geoinformation und Vermessung der Freien- und Hansestadt Hamburg (LGV) vor. Die Beteiligung der RAG im Projekt „Evaluierung digitaler Luftbildkameras“ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (DGPF) umfasste insgesamt etwa 570 Arbeitsstunden, die des LGV ca. 90 Stunden (SPRECKELS ET AL. 2010). Die Photogrammetrie wird bei RAG seit mehr als 35 Jahren im Tagesgeschäft zur hochgenauen Erfassung von bergbaubedingten Bodenbewegungen eingesetzt (LÜTZENKIRCHEN 1974, BUSCH 1989). Bereits im Jahr 2004 führte RAG photogrammetrische Auswertungen in digitalen Luftbildern durch und hat seitdem einige Untersuchungen zur Genauigkeit dieser Bild-

1)Volker Spreckels, Andreas Schlienkamp, RAG Aktiengesellschaft, Deutsche Steinkohle AG, BG G2 Geodatenmanagement, Shamrockring 1, D-44623 Herne, Deutschland, e-mail: volker.spreckels@rag.de, andreas.schlienkamp@rag.de.

daten durchgeführt (SPRECKELS ET AL. 2008). Weitere praktische Auswertungen zu digitalen Kameras sind unter anderem von PERKO ET AL. 2004, NEUMANN 2004, ARIAS UND GOMEZ 2007 sowie TALAYA ET AL. 2008 beschrieben worden.



Abb. 1: 3D-Ansicht der photogrammetrischen Auswertung, Gebiet 1 „Innenstadt“, in den Bildern der UltraCamX, 8cm Ground Sampling Distance (GSD).

Die Aerotriangulation (AT) wurde von anderen Projektpartnern durchgeführt und an RAG und LGV übergeben. Hierbei musste in Kauf genommen werden, dass über die an der AT beteiligten Operateure andere persönliche Punkteinstellgenauigkeiten vorliegen, deren Einflüsse in den nachfolgenden Auswertungen enthalten sein können (JACOBSEN ET AL. 2010).

Alle stereophotogrammetrischen Messungen der RAG wurden von einer Photogrammetrie-Operateurin mit 23 Jahren Berufserfahrung in der Messung von Bodenbewegungsblöcken und großflächigen DGM in bergbaulichen Veränderungsgebieten durchgeführt. Am LGV erfolgten die Messungen als Trainingsprojekt für eine Operateurin. Die Messungen erfolgten mit ERDAS Imagine LPS/Pro600 und dem NuVision Stereovorsatz, sowie in den ADS40 Daten, 8cm GSD, für das Gebiet Nr. 1 mit dem PLANAR Stereobetrachtungssystem.

Die Messungen des LGV wurden ebenfalls mit ERDAS Imagine LPS/Pro600 am PLANAR Stereo-System mit passiver Polarisationsbrille erstellt.

Es wurden vier Testgebiete ausgewählt, für die das Stereoplotting erfolgte: Gebiet 1 „Innenstadt“, Gebiet 2 „Hochhäuser“, Gebiet 3 „Wohnbebauung“ und Gebiet 4 „Steinbruch“ (s. Abb. 2).

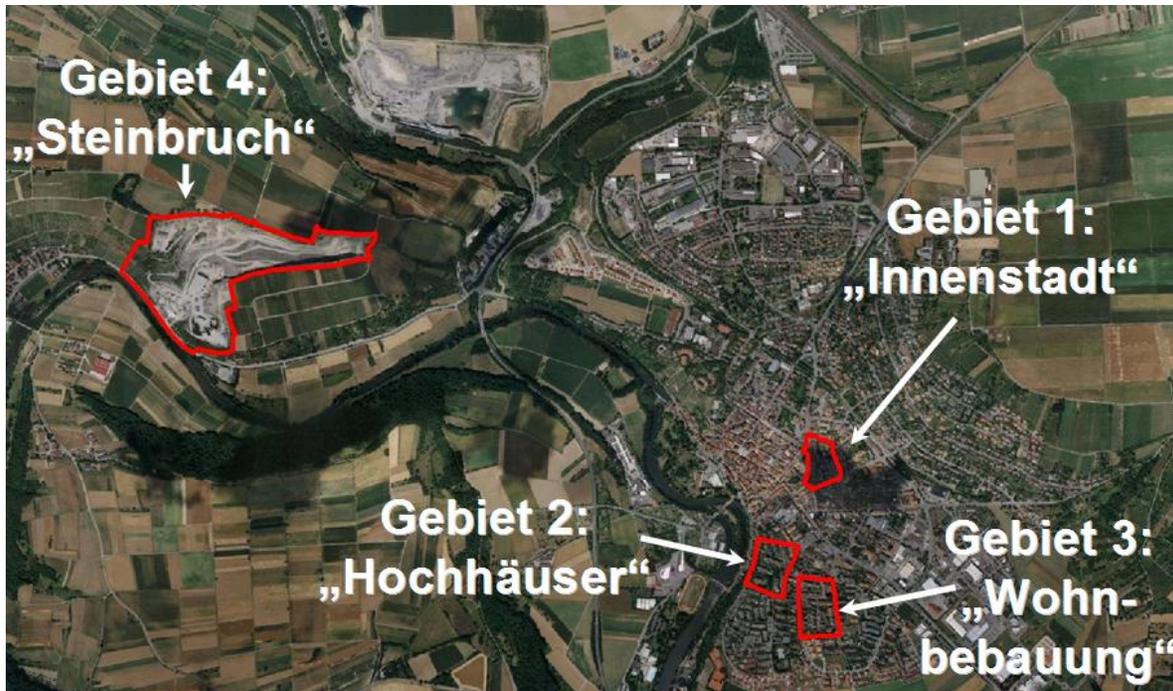


Abb. 2: Ausschnitt aus dem Orthophotomosaik des Testgebietes Vaihingen-Enz mit der Übersicht der vier Testgebiete für das Stereoplotting.

Bei RAG wurden die stereophotogrammetrischen Messungen in den Bilddaten mit 8cm und 20cm Bodenauflösung (Ground Sampling Distance, GSD) für die Testgebiete 1 bis 3 in den Bilddaten der Kamerasysteme Zeiss RMK Top 15 (RMK), Intergraph/ZI DMC (DMC), Vexcel Imaging UltraCamX (UCX), Leica ADS40 (ADS) und der IGI Quattro DigiCAM (DigiCAM) ausgewertet. Das Testgebiet 4, Steinbruch, wurde nur in den 20cm GSD Datensätzen ausgewertet, denn eine Testauswertung in 8cm GSD zeigte keine erkennbaren Abweichungen oder Verbesserungen der topographischen Aufnahme. Am LGV erfolgten die Auswertungen für das Testgebiet Nr. 3 in den 8cm und 20cm Bilddaten der DMC. Die stereophotogrammetrischen Auswertungen wurden als 3D-shapefiles an Mitglieder der Arbeitsgruppe „Geometrie“ übermittelt. Eine 3D Gebäudemessung des Gebietes 1 „Innenstadt“ (s. Abb. 1) wurde als 3D-shapefile und im 3DS-Format der Projektleitung und der ISPRS WGIII/4, Complex Scene Analysis and Reconstruction übergeben.

Die Vergleiche der stereophotogrammetrischen Auswertungen wurden für jede Kamera in 8cm zu 20cm GSD, sowie zwischen den Kamerasystemen in 8cm, sowie in 20cm GSD durchgeführt. Die Vergleiche zeigen einen sehr großen Einfluss des Wetters zum Befliegungszeitpunkt auf die Bildmessung und Interpretation (s. Abb. 3). Zur Ermittlung möglichst objektiver Ergebnisse wurden die Messungen identischer Punkte und Linien, sowie die persönliche Einstellgenauigkeit des Operateurs über eine Dreifachmessung der Passpunkte in den 8cm GSD Daten herangezogen.



Abb. 3: Übersicht der Bilddatensätze zu den Aufnahmezeitpunkten im Gebiet 1 „Innenstadt“: von links nach rechts, oben: 24.07.2008 RMK, 24.07.2008 DMC, 06.08.2008 DMC, unten: 06.08.2008 ADS, 06.08.2008 DigiCAM und 11.09.2008 UCX.

2 Stereophotogrammetrische Auswertungen

Bei den Auswertungen wurde, soweit möglich, darauf geachtet, dass zuerst die 20cm GSD Bilddaten bearbeitet wurden, damit die Auswertungen nicht durch die Kenntnis von Bildinformationen aus den 8cm GSD Bildern beeinflusst werden konnten. Weiterhin wurde darauf geachtet, dass die auf einander folgenden Bilddatensätze möglichst unterschiedliche Wetterverhältnisse aufwiesen. Die Messungen erfolgten mit Kodierungen gemäß des Objektschlüsselkataloges „OSKA“, so dass alle Gruppenmitglieder einheitliche Datensätze erstellen konnten. Alle Passpunktmessungen zur Ermittlung der persönlichen Einstellgenauigkeit sowie die stereophotogrammetrische Auswertung erfolgten für alle Kameras in 4-facher

Vergrößerung (Zoom-Stufe 4x), so dass eine einheitliche Beurteilung der Performance des Auswertesystems und der topographischen Auswertung möglich ist. Ein Beispiel für die Punktmessung in Zoom-Stufe 4x in den unterschiedlichen Bilddaten zeigt Abb. 4 für den Passpunkt Nr. 2203.

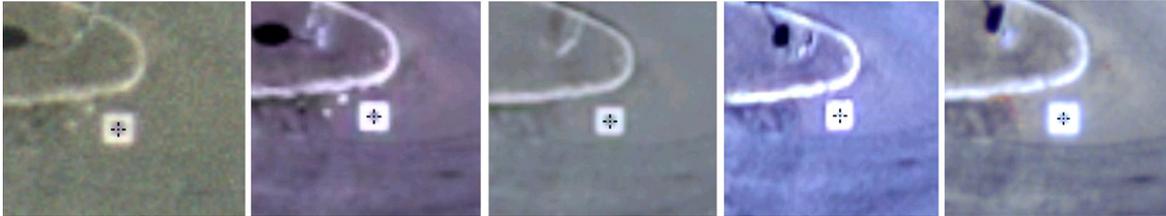


Abb. 4: Passpunktmessung in Zoom-Stufe 4x für den PP 2203, von links nach rechts: RMK, DMC, UCX, DigiCAM, ADS40.

Die von der Universität Stuttgart signalisierten Passpunkte sind innen mit schwarzer Farbe (30cm x 30cm) und außen mit einem 30cm breiten weißen Rand signalisiert. Diese Signalisierung stieß zuerst auf Skepsis, sie erwies sich jedoch als sehr gut für die Punktbestimmung in 8cm GSD, solange die Messmarkengröße so gewählt wurde, dass das Messkreuz bis zum weißen Rand reichte und nicht im schwarz signalisierten Bereich „versinken“ konnte (s. Abb. 4).

Es können keine konkreten systembedingten Unterschiede zwischen der DMC und der UCX ermittelt werden, da die Bilddaten dieser beiden Kameras zu stark durch die vorherrschenden Wetterbedingungen geprägt sind (siehe auch SPRECKELS ET AL. 2010). Herauszustellen sind jedoch die Bilddaten der DigiCAM und der ADS40:

Das Arbeiten mit den jeweils vier Einzelbildern des Quattro DigiCAM Bildfluges war sehr gewöhnungsbedürftig. Zuerst mussten jeweils die beiden „dem rechten Flügel“ bzw. die beiden „dem linken Flügel“ des Bildflugzeuges nahen Einzelbilder in LPS einem gesonderten Bildstreifen zugeordnet werden, so dass zwei Bildstreifen in die gleiche Richtung wiesen. Die Benennung der Bilder war im Projekt vorgegeben und führte dadurch zu sehr langen Bildnamen, was zu einer mühsamen und schnell verwirrenden Zuordnung der Stereobildpartner führte. Die DigiCAM verfügt nicht über eine Forward Motion Compensation (FMC). Im 8cm Bilddatensatz der DigiCAM wurden einige unscharfe Bilder erkannt, so zum Beispiel das Stereobild, das in Abb. 5. links zu sehen ist. Diese unscharfen Bilder entstammen gemäß Aussage des Herstellers der Fokussierung einer der vier Kameras, des Kamerakopfes Nr. 127, auf 70m. Allerdings scheint noch eine Unschärfe in Flugrichtung aufzutreten. Diese lokalen Unschärfen wirken sich natürlich auf die Erkennbarkeit im Stereobild aus, und wegen der resultierenden hohen systematischen Bildfehler (s. Abb. 5, rechts) für diesen Kamerakopf in Teilbereichen direkt auf die stereophotogrammetrische Messung ein. Der Versuch, die Passpunktmessungen in den Bereichen des ungenau fokussierten Kamerakopfes zu selektieren und getrennte Auswertungen zur Punktmessgenauigkeit im unscharfen und scharfen Bildbereich abzuleiten, war jedoch nicht aussagekräftig.



Abb. 5: Einfluss der Defokussierung eines DigiCAM Kamerakopfes am Beispiel des Passpunktes Nr. 3041029 in Zoom-Stufe 4x (links) und Zoom-Stufe 11,7x (Mitte). Jeweils unten: Ansicht des linken und rechten Stereopartners. Rechts: Systematische Bildfehler der DigiCAM Kameraköpfe. Flugrichtung in Pfeilrichtung.

In den ADS40 Bilddaten war das Stereoplotting mit LPS/PRO600 möglich, da das Modell der Zeilenkamera im Auswerteprogramm integriert ist. Allerdings können nur bereits triangulierte Level1 Bilder bearbeitet werden. Die stereophotogrammetrische Auswertung war dank der Arbeit in den sehr langen, kontinuierlichen Stereomodell-Streifen (Backward-Nadir, BN und Forward-Nadir, FN) in den ADS40 Bildern am angenehmsten. Über den durchgehenden Nadirblick treten nur sehr geringe sichttote Bereiche auf, dafür bieten die Stereomodelle in Streifenform nicht so viele unterschiedliche Einblickmöglichkeiten wie Einzelbilder. Für die Operateurin war damit nur eine geringfügige Umstellung der Auswertung nötig, zum Beispiel bei der Messung eines Gebäudes über den Wechsel zwischen den Stereomodellen in BN und FN, anstatt des fortlaufenden Anhängens des nächsten Stereomodells.

Da die Farbinformation bei der ADS in der originalen Pixelgröße vorliegt, zeichnen sich die ADS Bilder durch die höchste Detailschärfe und Objekterkennung aus (s. Abb. 6). Das erleichtert zum einen die photogrammetrische Auswertung und führt zum anderen zur höchsten Anzahl der für die weiteren Vergleiche selektierten identischen Punkte und Linien, die im weiteren Verlauf dieses Kapitels vorgestellt werden.

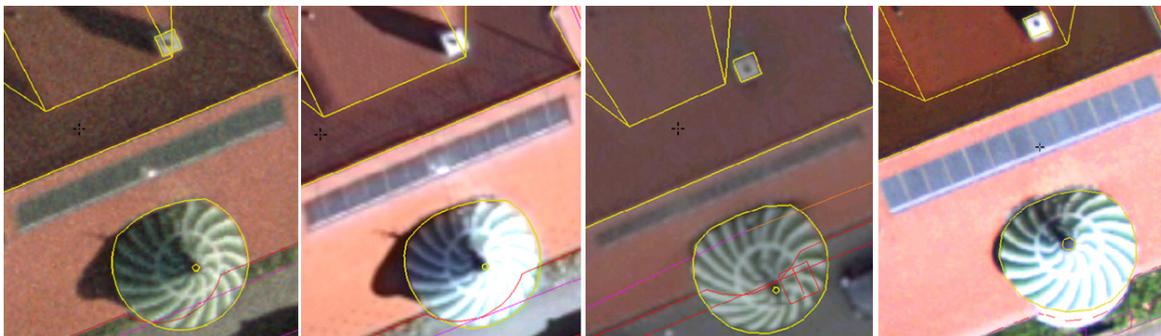


Abb. 6: Detailansicht der Bilddaten, von links nach rechts: RMK, DMC, UCX, ADS. 8cm GSD.

Bei den Flächensensorkameras muss die Quattro DigiCAM wegen der großen Modelldeformationen des defokussierten Kamerakopfes Nr. 127 und seines großen lokalen Einflusses auf sehr viele Stereomodelle gesondert betrachtet werden. Aufgrund der unterschiedlichen Wettersituationen kann für die Flächensensorkameras keine klare Aussage für oder gegen ein Kamerasystem gegeben werden, da eventuell bestimmbare Unterschiede definitiv vom Einfluss der Sonneneinstrahlung überdeckt werden. Eine Empfehlung kann für die Bilddaten des Zeilensensors ADS40 gegeben werden, da dieser die beste Objekterkennung und die angenehmste Stereomessung bietet.

2.1 Vergleich des Stereoplottings in 8cm zu 20cm GSD

Bei diesem Vergleich wurden die stereophotogrammetrischen Auswertungen je Kamera betrachtet. Dabei muss darauf hingewiesen werden, dass die 20cm GSD Bilddaten der RMK mit CIR-Film und für 8cm mit einem Echtfarbfilm befliegen wurden. Es kann also keine direkte Aussage über die Interpretation und Erkennbarkeit in den Luftbildern der RMK getroffen werden. Die CIR Bilder der RMK sind wegen der starken Überstrahlungen nicht sehr gut für eine topographische Auswertung geeignet (s. Abb. 7).



Abb. 7: Detailansicht der Bilddaten. Von links nach rechts: RMK, DMC, UCX, ADS für 8cm GSD (obere Reihe) und 20cm GSD (untere Reihe).

Die Auswertungen belegen, wie natürlich zu erwarten war, dass deutlich mehr Details in den 8cm GSD Luftbildern zu erfassen sind (s. Abb. 8, links). Die Auswertungen sind sehr stark von der Anzahl der Stereomodelle, der Lage des Messgebietes im Stereomodell bzw. der Sichtbarkeit in einem oder in zwei Bildflugstreifen, sowie von der Sonneneinstrahlung beeinflusst. Durch den Einfluss der Sonneneinstrahlung können Kanten hervorgehoben und somit Bordsteine messbar werden, es können allerdings auch Auswertebereiche im Schatten verschwinden oder Bordsteine oder Passpunktsignale überstrahlt werden. Bei schwachen Kontrasten hingegen können z.B. Bordsteine nicht mehr genau zu messen sein oder Details schlechter - stellenweise wiederum besser - zu erkennen sein, was bis hin zu Fehlinterpretationen führen kann.



Abb. 8: Links: Gebiet 2 „Hochhäuser“: Vergleich der photogrammetrischen Auswertungen in 8cm GSD (rot) zu 20cm GSD (blau), RMK. Rechts: Gebiet 1 „Innenstadt“: Vergleich der Auswertungen in 8cm GSD zwischen UCX (rot) und DMC (blau).

Somit ist eine rein visuelle Beurteilung zum Vergleich der topographischen Auswertungen hinsichtlich kameraspezifischer Vor- oder Nachteile nicht aussagekräftig.

2.2 Vergleich des Stereoplottings in 8cm zu 8cm und 20cm zu 20cm GSD

Bei diesem Vergleich wurden die stereophotogrammetrischen Auswertungen der unterschiedlichen Kameras betrachtet. Wie bereits geschildert, weist die ADS40 insgesamt die beste Objekterkennbarkeit auf. Wesentlich bei der Betrachtung der Flächensensoren war auch hier der Einfluss der Sonneneinstrahlung, so dass es z.B. beim Vergleich der Auswertung des DMC und des UCX Datensatzes dazu kam, dass einige Kanaldeckel, die nicht von Fahrzeugen verdeckt sind, im einen bzw. im anderen Bildmaterial nicht erkannt und gemessen wurden (s. Abb. 8, rechts).

Auch hier konnte keine objektive Bewertung kameraspezifischer Eigenschaften erfolgen, da die Interpretation und Erkennbarkeit im Luftbild wesentlich von der Lage eines Objektes im Stereomodell sowie von der Zahl der das Gebiet abdeckenden Stereomodelle abhängt, was zu unterschiedlichen sichttoten Räumen führt. Auf jeden Fall erschwerten starke Kontraste und Helligkeitsunterschiede die Stereoauswertung dadurch, dass Helligkeit und Kontrast öfter angepasst werden mussten. Sehr helle Bereiche hinterlassen zudem ein Nachbild im Auge des Operateurs, das bis zur nächsten sicheren Messeinstellung abklingen muss.

Eine rein visuelle Beurteilung zum Vergleich der topographischen Auswertungen hinsichtlich kameraspezifischer Vor- oder Nachteile ist also mit den vorliegenden Bilddatensätzen nicht durchgehend aussagekräftig.

2.3 Vergleich der stereophotogrammetrischen Punktmessungen

Eine visuelle Bewertung der photogrammetrischen Auswertungen könnte im Einzelfall für ein spezielles Objekt erfolgen. Das ist aber nicht flächendeckend für alle Kamerasysteme und Testgebiete in 8cm GSD und 20cm GSD umsetzbar, so dass die Vergleiche über identische

Punkte und Linien erfolgten. Identische Punkte sollten innerhalb eines Puffers von 50cm liegen und die gleiche Kodierung besitzen. In den 3D-shapefiles der stereophotogrammetrischen Auswertung wurden identische Punkte der Klassen 3504 (Kanaldeckel), 3505 (Gully) und 5742 (Lanterne) selektiert und die Punktkoordinaten zueinander statistisch aufbereitet, siehe Tab. 1. Im Vergleich zu den Punktmessungen zeigt die Messung der Kanaldeckel kleinere Lagedifferenzen, die Höhenmessung bleibt auf gleichem Niveau (s. Abb. 9.). Die Vergleiche erfolgten mit den Kameras RMK, DMC, UCX und ADS für die Gebiete 1 bis 3. Mit der DigiCAM wurden die Gebiete 1 und 2 bearbeitet, so dass hier eine insgesamt geringere Punktzahl vorliegt.

Sensor	Alle Punkte, 8cm zu 20cm GSD						Kanaldeckel, 8cm zu 20cm GSD							
	Anzahl Punkte	mean [cm]			stddev [cm]			Anzahl Punkte	mean [cm]			stddev [cm]		
		dx	dy	dz	dx	dy	dz		dx	dy	dz	dx	dy	dz
RMK	125	-1,9	0,7	17,7	10,3	9,2	14,7	36	-1	1,6	20	6	8,3	12,8
DMC	92	-0,7	2,2	6,2	12,6	9,6	18,5	21	7,6	1	6,5	10,3	7	13,9
UCX	129	-2	6,1	7,3	9,4	8,4	18	29	-0,6	4,8	10,1	6,4	7,1	15,1
ADS	203	4,4	-4,5	-5,9	5,2	0,4	-6,5	69	5,1	-1,6	-4,4	4,7	5,2	11,8
DigiCAM	63	10,9	5,5	11,6	13,6	15,3	17,6	13	10,1	12,9	11,7	5,9	14,4	18,3
DMC LGV	63	-4,8	-0,5	18,6	11,0	11,4	13,3	16	-1,8-	3,3	24,8	4,1	7,3	13,6

Tab. 1: Vergleich identischer Punktmessungen der RAG für RMK, DMC, UCX, ADS und DigiCAM, sowie des LGV für DMC im Gebiet Nr. 3. **8cm GSD zu 20cm GSD**

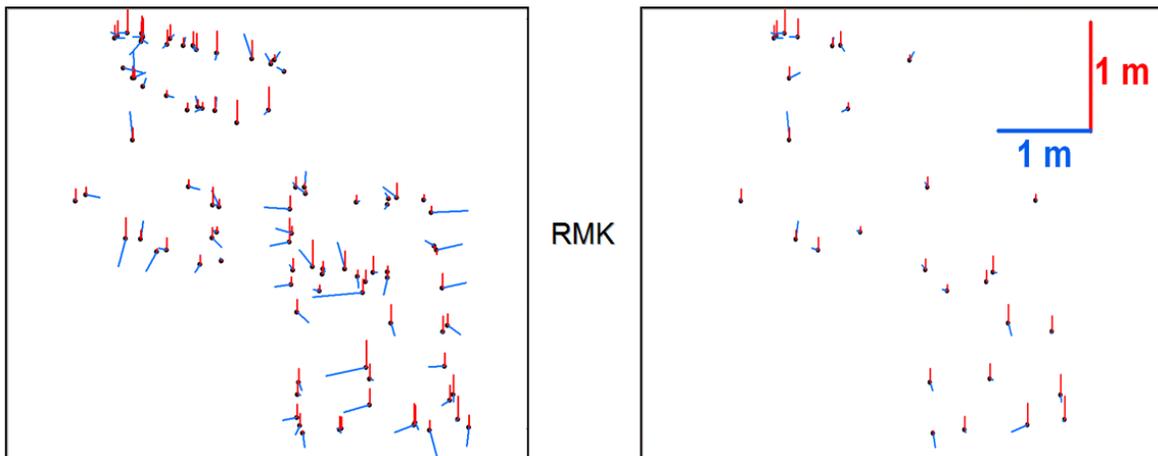


Abb. 9: Differenzen aller Punktmessungen (links) und Kanaldeckelmessungen (rechts) am Beispiel der RMK, Vergleich **8cm GSD zu 20cm GSD** für die Gebiete 2 und 3.

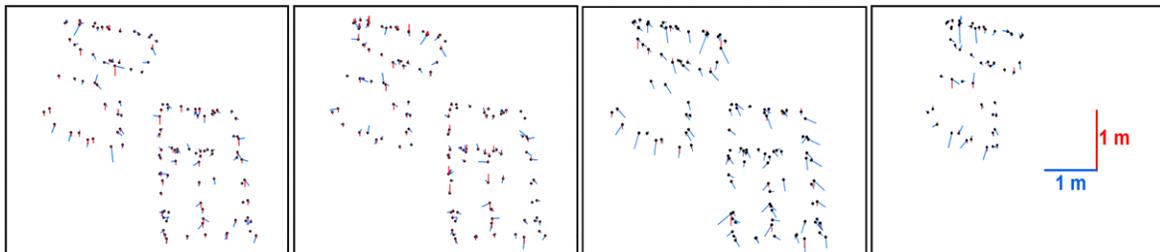


Abb. 10: Differenzen aller Punktmessungen der Gebiete 2 und 3 in **8cm GSD**, von links nach rechts: RMK-DMC, RMK-UCX, RMK-ADS und RMK-DigiCAM (nur für Gebiet 2).

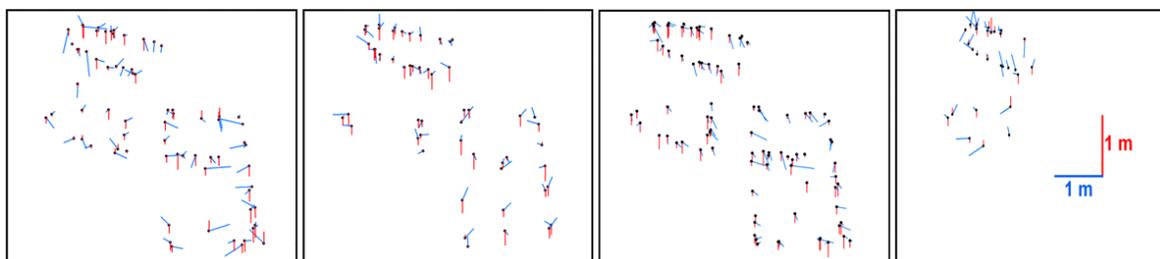


Abb. 11: Differenzen aller Punktmessungen der Gebiete 2 und 3 in **20cm GSD**, von links nach rechts: RMK-DMC, RMK-UCX, RMK-ADS und RMK-DigiCAM (nur für Gebiet 2).

Sensor	Alle Punkte, 8cm GSD							Kanaldeckel, 8cm GSD						
	Anz. Pkte	mean [cm]			stddev [cm]			Anz. Pkte	mean [cm]			stddev [cm]		
		dx	dy	dz	dx	dy	dz		dx	dy	dz	dx	dy	dz
RMK - DMC	182	-0,6	-2,6	-1,7	5,7	5,5	10,6	53	-1,1	-1,9	-3,1	2,9	5,2	7,7
RMK - UCX	183	-0,9	-0,9	2,6	6,1	5,2	11,0	54	-1,0	-0,5	2,9	3,6	4,9	8,3
RMK - ADS	172	2,4	-8,9	-1,5	6,8	6,1	10,1	52	2,6	-7,4	-1,7	3,7	5,0	6,9
RMK - DigiCAM	104	0,9	-2,5	-0,8	7,3	7,9	8,4	36	-0,1	0,2	1,2	4,2	5,5	6,2
DMC - UCX	184	-0,3	1,7	4,5	4,7	5,6	11,1	54	0,0	1,2	5,5	3,0	3,9	8,1
DMC - ADS	180	3,3	-6,1	0,2	5,1	4,6	9,2	57	3,7	-5,3	0,4	3,1	3,5	6,8
DMC - DigiCAM	108	2,5	-0,3	-2	7,1	6,6	10,3	35	0,9	0,3	-1,0	4,9	5,0	8,3
UCX - ADS	206	4,3	-7,7	-3,7	5,7	5,0	10,5	63	4,0	-6,6	-5,2	3,1	3,8	8,0
UCX - DigiCAM	130	3,3	-1,5	-4,3	6,8	6,8	9,4	45	1,7	-0,3	-6,3	4,8	4,8	7,2
ADS - DigiCAM	137	-1,4	5,6	0,3	5,9	6,0	10,6	56	-2,4	5,8	1,3	4,3	4,2	5,5

Tab. 2: Vergleich identischer Punktmessungen der RAG zwischen RMK, DMC, UCX, ADS und DigiCAM Bilddaten in **8cm GSD**

Sensor	Alle Punkte, 20cm GSD							Kanaldeckel, 20cm GSD						
	Anz. Pkte	mean [cm]			stddev [cm]			Anz. Pkte	mean [cm]			stddev [cm]		
		dx	dy	dz	dx	dy	dz		dx	dy	dz	dx	dy	dz
RMK - DMC	97	-0,6	-2,1	-9,7	14,5	11,6	21,5	20	7,5	-2,8	-14,1	11,7	8,8	20,7
RMK - UCX	88	-0,9	2,3	-11,6	9,4	10,6	23,3	22	-0,7	0,2	-4,2	8,9	9,7	22,6
RMK - ADS	123	4,6	-9,4	-18,4	7,7	7,0	16,5	37	2,9	-7,9	-19,7	6,1	6,3	15,7
RMK - DIGICAM	51	-6,6	2,3	0,9	14,3	17,0	18,3	11	-8,4	1,9	-6,4	7,3	16,1	12,7
DMC - UCX	72	-1,5	3,5	0,3	15,2	11,9	20,3	13	-6,7	3,6	1,7	10,5	11,3	14,0
DMC - ADS	91	4,8	-8,7	-5,9	14,2	9,7	17,1	22	-4,0	-5,4	-6,9	9,8	7,1	13,0
DMC - DIGICAM	37	-7,5	3,1	5,3	18,0	14,3	23,4	5	-19,3	8,9	-4,1	5,2	12,4	24,1
UCX - ADS	117	6,3	-12,3	-10,2	9,3	7,9	17,8	28	3,9	-10,6	-15,5	6,2	6,2	13,7
UCX - DIGICAM	50	-7,1	1,1	2,1	14,1	13,3	25,4	11	-9,3	1,8	-8,9	7,8	14,3	29,1
ADS - DIGICAM	69	-12,7	10,2	16,0	14,6	13,8	16,6	13	-14,9	16,7	13,3	6,9	13,7	20,1

Tab. 3: Vergleich identischer Punktmessungen der RAG zwischen RMK, DMC, UCX, ADS und DigiCAM Bilddaten in **20cm GSD**

Aus den Vergleichen in Tabelle 1 bis Tabelle 3 können folgende Ergebnisse abgeleitet werden, wobei die geringere Punktzahl der DigiCAM für die Gebiete 1 und 2 zu berücksichtigen ist:

8cm zu 20cm, je Kamera:

Die meisten identischen Punktmessungen konnten der ADS zugeordnet werden, gefolgt von der UCX, RMK und der DMC. Die Punktmessungen für die Flächensensoren sind sehr stark von der Sonneneinstrahlung geprägt.

Die Stereomessungen in den 8cm GSD Bilddatensätzen liegen für die digitalen Luftbilder der Mehrzeilenkamera ADS etwa 5cm bis 6cm niedriger als in den 20cm GSD Bildern.

Die Flächensensorkameras hingegen liegen um ca. 6cm bis 7cm höher als in den 20cm GSD Luftbildern, und um 18cm höher verglichen zu den analogen, gescannten Luftbildern der RMK. Der Grund hierfür kann in der schlechteren Punktansprache in den CIR Bildern verglichen zu den RGB Bildern zu finden sein. Zudem weisen die gescannten Luftbilder ein höheres Bildrauschen auf, so dass die Messmarke für die Höhenmessung in den gescannten Luftbildern nicht so exakt aufgesetzt werden kann, wie in den digitalen Luftbildern. Da die Farbbilder der Flächensensoren mit dem Verfahren des Pan-Sharpening aufbereitet werden, unterliegen sie Filterungen, die den Bildinhalt somit auch die Stereomessung beeinflussen. Das ist bei der ADS nicht der Fall, da die panchromatischen und die Farbbilder in der gleichen Auflösung erfasst werden.

In den 8cm GSD Bildern ist der schwarze Innenbereich des Passpunktes erkennbar, in den 20cm GSD Bildern wird der schwarze Innenbereich vom weißen Rand des Passpunktsignals überstrahlt. Somit erfolgt eine unterschiedliche Punktansprache, wobei die Messmarke in 8cm GSD genauer als in 20cm GSD auf das Passpunktsignal aufgesetzt wird.

Die ADS weist in x- und y-Richtung Abweichungen von etwa 0,5 Pixel auf, die auf die Lage des Pixelursprungs zurückzuführen sind (s. Abb. 14).

Die DigiCAM weist einen sehr hohen Wert von ca. 11cm in x-Richtung auf, der auf Punktmessungen in Stereomodellen des Kamerakopfes Nr. 127 zurückzuführen ist.

Der Vergleich zwischen RAG und LGV für die Auswertungen im DMC Datensatz zeigt ein vergleichbares Ergebnis für die Standardabweichungen der Punktmessungen, wobei die Werte des LGV für die Höhenmessung stärker streuen.

8cm zu 8cm, zwischen den Kameras:

Die Mittelwert der ADS40 Punktmessungen liegt im Vergleich zu den anderen Kameras bei bis zu 1 Pixel in x- und in y-Richtung, bedingt durch die Zuordnung des Pixelursprungs (s. Abb. 14).

Die Lagemessgenauigkeit liegt für alle Kameras bei 0,6 Pixel und besser.

Die Höhenmessgenauigkeit über alle Punkte liegt für alle Kameras bei 1,0 bis 1,2 Pixel, für die Messung von Kanaldeckeln bei 0,8 bis 1 Pixel.

20cm zu 20cm, zwischen den Kameras:

Die größte Streuung der Lagemessungen weist die ADS40 zu der UCX und der DigiCAM auf, jedoch beträgt die Standardabweichung der ADS zu den Flächenkameras nur ca. 0,8 Pixel über alle Punkte und etwa 0,7 Pixel für die Kanaldeckel. Zwischen der RMK, DMC und UCX beträgt sie ca. 0,5 Pixel und zur DigiCAM etwa 0,7 Pixel.

Die Höhenmessungen der Flächenkameras verglichen mit der ADS streuen bis zu 0,9 Pixel, die Standardabweichungen nehmen für diese Vergleiche allerdings die niedrigsten Werte von 0,8 bis 0,9 Pixel über alle Punkte, bzw. ca. 0,7 Pixel für die Kanaldeckelmessungen an.

Die Höhenmessungen der Flächenkameras untereinander streuen zwischen 0,1 bis 0,5 Pixel, jedoch liegt die Standardabweichung mit 0,9 bis 1,1 für DMC und UCX bzw. 1,1 bis 1,4 Pixel für die DigiCAM und ist damit leicht höher als für die 8cm GSD Bilddaten.

Die RMK Höhenmessungen liegen etwa auf gleichem Niveau wie die Höhenmessungen der DigiCAM. Die RMK Höhenmessungen liegen ca. 10cm unter der DMC und der UCX und sogar 16cm bis 18cm unterhalb der ADS. DMC und UCX liegen auf etwa gleichem Höhenniveau.

2.4 Vergleich stereophotogrammetrisch gemessener Linien

Es wurde weiterhin ein Versuch unternommen, auch die Linienmessung im Stereomodell zu analysieren. Dazu wurden identische Linienpunkte innerhalb eines Puffers von 1m selektiert. Es wurden die Punktkodierungen 5101 (Strasse) und 5201 (Weg) verwendet. Für diese Linien wurden die Anzahl der Linien, Anzahl der Linienpunkte, die Lagedifferenz und der kürzeste Abstand der Linien ermittelt. Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse des Linienvergleiches für die jeweiligen Kameras in 8cm GSD zu 20cm GSD, siehe auch Abb. 12. In Tabelle 5 sind die Differenzen (Mittelwert und Median) der als identisch ermittelten Linien zwischen den Kameras in 8cm GSD und in 20 cm GSD zusammengefasst.

Die Abbildung 12, rechts, belegt eindeutig, dass der Bildinhalt und die Erfahrung der Operateure das Ergebnis der Auswertung über die Bildinterpretation bedingen. Der Vergleich der Linienmessungen zeigt, wie schon vorher genannt, die starke Abhängigkeit der Messung vom Wetter, vor allem der Sonneneinstrahlung. Aufgrund der starken Kontraste weicht die Wahrnehmung von Kanten, z. B. Bordsteinen, vom DMC zum Bilddatensatz der RMK stark ab, was zu größeren Lageunterschieden zwischen der DMC, der RMK und der UCX führt.

Kamera	Anzahl der Linien	Vergleich 8cm zu 20cm GSD [cm]		
		mean dl	median dl	stdev dl
RMK	83	5,3	2,1	7,4
DMC	57	8,7	3,7	10,1
UCX	87	5,7	2,1	7,6
ADS	106	6,3	3,2	8,4
DigiCAM	32	4,1	2,4	5,4

Tab. 4: Vergleich identischer Linienmessungen für RMK, DMC, UCX, ADS und DigiCAM zwischen **8cm GSD** und **20cm GSD**.

Kameras	Anzahl der Linien	8cm GSD [cm]		Anzahl der Linien	20cm GSD [cm]	
		mean dl	stdev dl		mean dl	stdev dl
RMK - DMC	85	2,9	4,8	65	7,4	10,6
RMK - UCX	102	4,2	5,3	83	4,7	7,7
RMK - ADS	97	5,0	6,5	87	6,6	9,9
RMK - DigiCAM	37	2,5	3,7	33	5,5	9,3
DMC - UCX	111	3,2	5,0	57	7,3	9,0
DMC - ADS	93	4,5	6,9	61	6,8	8,5
DMC - DigiCAM	46	2,6	3,4	23	6,3	9,5
UCX - ADS	125	5,7	6,9	98	5,6	8,5
UCX - DigiCAM	52	2,4	3,7	39	5,0	5,0
ADS - DigiCAM	55	3,7	6,2	28	4,7	5,0

Tab. 5: Vergleich der Linienmessungen zwischen RMK, DMC, UCX, ADS und DigiCAM in **8cm** und **20cm GSD**.



Abb. 12: Links und Mitte: Linienmessungen in RMK (rot) und DMC Bildern (blau), 8cm GSD, überlagert zum UCX Orthophoto, 8cm GSD. Rechts: Vergleich der Linienmessungen RAG (blau) und LGV (rot) überlagert zum DMC Orthophoto, 20cm GSD.

Auch dieser Vergleich der Linienmessungen bestätigt den großen meteorologischen Einfluss. Kameraspezifische Unterschiede können auch über diesen Vergleich nicht konkret erfasst werden.

2.5 Vergleich der NuVision- und PLANAR-Stereobetrachtungssysteme

Im Projektverlauf ergab sich die Möglichkeit, die Punktmessungen zweier unterschiedlicher Stereobetrachtungssysteme zu vergleichen. Bei RAG wurden alle Auswertungen an Röhrenmonitoren mit dem NuVision Stereovorsatz angefertigt, zudem konnte das Testgebiet 1 „Innenstadt“ noch in den ADS Bilddaten an einer Auswertestation mit dem PLANAR-System und Flachbildschirmen ausgewertet werden. Das Testgebiet Nr. 3 „Wohnbebauung“ wurde am LGV mit dem PLANAR-System bearbeitet, so dass Vergleiche in Messpunkten für das Gebiet Nr. 1 (RAG) und Nr. 3 (RAG - LGV) möglich waren, siehe Tabelle 6 und Tabelle 7.

Sensor DMC	Kanaldeckel, 8cm GSD							Kanaldeckel, 20 cm GSD						
	Punkte	mean [cm]			stddev [cm]			Punkte	mean [cm]			stddev [cm]		
		dx	dy	dz	dx	dy	dz		dx	dy	dz	dx	dy	dz
RAG - LGV	24	2,9	3,1	10,5	2,4	3,0	6,3	7	-4,7	-9,5	25,6	10,9	7,4	15,8

Tab. 6: Vergleich der Punktmessungen im Gebiet 3 „Wohnbebauung“, RAG (NuVision) zum LGV (PLANAR), in DMC Bilddaten **8cm GSD** und **20cm GSD**

Sensor ADS	Kanaldeckel, 8cm GSD						
	Punkte	mean [cm]			stddev [cm]		
		dx	dy	dz	dx	dy	dz
NuVision - PLANAR	26	3,9	5,3	7,9	2,8	3,6	7,1

Tab. 7: Vergleich der Messungen im Gebiet 1 „Innenstadt“, RAG: NuVision zu PLANAR in ADS40 Bilddaten, **8cm GSD**

Die Ergebnisse bestätigen die Aussagen der Operateure, dass bei der Stereoauswertung am PLANAR-System ein helleres, klareres Bild vorliegt, wodurch eine veränderte Punktansprache erfolgt. Daraus folgt am PLANAR-System das Aufsetzen der Messmarke auf einem tieferen Niveau entsprechend etwa der Größenordnung 0,7 bis 0,9 Pixel, wie die Vergleiche der RAG untereinander und zum LGV zeigen. Bei der Betrachtung dieses Vergleiches muss allerdings noch die persönliche Einstellgenauigkeit der Operateure berücksichtigt werden.

2.6 Bestimmung der persönlichen Einstellgenauigkeit

Die persönliche Einstellgenauigkeit wurden bei RAG über eine Mehrfachmessung aller Passpunkte in den 8cm GSD Luftbildern der RMK, DMC, UCX, ADS und DigiCAM bestimmt, beim LGV in den DMC Bildern. Dazu wurden die Punkte in jedem Stereomodell dreimal angefahren und gemessen (s. Tab. 8). Abweichend von der täglichen Praxis wurden auch außerhalb des Modellbereiches liegende Passpunkte im Randbereich gemessen, um Erkenntnisse über die Messgenauigkeiten in den randnahen Bereichen zu erlangen (s. Abb. 13). Bei der ADS und der DigiCAM war es systembedingt nicht möglich, die Punktmessungen einem Modell- bzw. Randbereich zuzuordnen. Die persönliche Einstellgenauigkeit der RAG Operateurin liegt in den 8cm GSD Bildern aller Kameras bei etwa 0,5cm in Lage und Höhe. Am LGV wurden die

Passpunkte der DMC in 8cm GSD durch eine Doppelmessung bestimmt. Nach diesen liegt die Einstellgenauigkeit der Operateurin des LGV bei etwa 2 cm in der Lage und 3,7cm in der Höhe. Die tägliche Praxis zeigt, dass bei der Stereoauswertung durchaus Abweichungen von ca. 0,5 bis 0,7 Pixel zwischen unterschiedlichen Operateuren auftreten können.

Kamera	Punkte im	Anzahl PP	Anzahl Messungen	Persönliche Einstellgenauigkeit [cm]								
				dx			dy			dz		
				max	mean	std	max	mean	std	max	mean	std
RMK	Modellb.	60	645	0,9	0,4	0,2	1,2	0,4	0,2	1,1	0,4	0,2
	Randb.	45		0,9	0,3	0,2	1,3	0,4	0,2	1,0	0,4	0,3
DMC	Modellb.	58	735	1,2	0,4	0,2	1,6	0,4	0,2	1,6	0,6	0,3
	Randb.	55		1,0	0,4	0,2	1,6	0,5	0,2	1,8	0,6	0,3
UCX	Modellb.	58	741	1,0	0,4	0,2	1,5	0,4	0,2	1,9	0,6	0,4
	Randb.	50		1,2	0,4	0,2	1,1	0,5	0,2	1,7	0,6	0,3
ADS	Gesamt	55	102	0,9	0,3	0,2	1,0	0,4	0,2	1,5	0,5	0,3
DigiCAM	Gesamt	56	591	1,4	0,5	0,3	1,8	0,5	0,3	1,5	0,4	0,3
DMC LGV	Gesamt	57	114	2,0	0,1	1,3	5,0	0,3	2,1	11,0	0,0	3,7

Tab. 8: Persönliche Einstellgenauigkeit, Operateure RAG und LGV, aus 8cm GSD Bilddaten



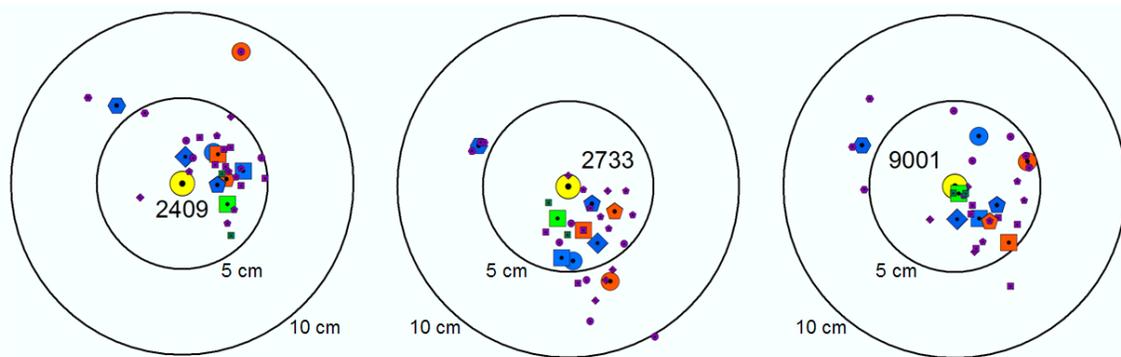
Abb. 13: Übersicht zur mehrfachen Passpunktmessung zur Bestimmung der persönlichen Einstellgenauigkeit: Grenzen des Modellbereiches (gelb) und des Randbereiches (rot), am Beispiel der RMK, 8cm GSD.

2.7 Bestimmung der Abweichung zur GPS-Koordinate

Wie bereits zu Beginn des Beitrages genannt, sind in den stereophotogrammetrischen Punktmessungen der RAG und des LGV noch die Einflüsse der AT enthalten. Um diese darzustellen, wurden die mehrfachen Passpunktmessungen mit der GPS-Koordinate der Passpunktbestimmung verglichen (s. Tab. 9). Die Abweichung zur GPS-Koordinate gibt Hinweise auf die Auswirkungen der AT und Bündelblockausgleichung.

Kamera	Punkte im	Anzahl PP	Anzahl Messungen	Differenz zur GPS-Koordinate [cm]					
				dx		dy		dz	
				mean	std	mean	std	mean	std
RMK	Modellb.	60	125	-1,0	2,4	1,1	3,5	1,1	7,5
	Randb.	45	90	-0,9	2,4	0,5	3,8	4,4	7,5
DMC	Modellb.	58	122	-1,2	1,8	1,8	2,8	-1,3	3,4
	Randb.	55	123	-1,3	1,9	2,3	2,6	-1,9	3,8
UCX	Modellb.	58	134	-2,2	1,2	1,6	2,1	0,2	4,8
	Randb.	50	113	-2,4	1,4	1,8	2,2	-2,1	5,4
ADS	Gesamtb.	55	102	3,5	1,1	-3,1	2,0	-0,2	3,7
DigiCAM	Gesamtb.	56	197	-1,0	1,9	0,8	2,6	-2,9	3,4
DMC LGV	Gesamtb.	58	116	-0,7	1,6	1,7	2,5	4,4	4,3

Tab. 9: Abweichungen der gemittelten Passpunktmessungen zur GPS-Koordinate



GPS-Koordinate: ●, Ø 1cm						
Gemittelte stereophotogrammetrische Messungen:						
	RMK Top 15	DMC	DMC - LGV	UltraCamX	ADS40	DigiCam
Modellbereich	●	■	■	●	●	◆
Randbereich	●	■		●		
Je Stereomodell	●	■	■	●	●	◆

Abb. 14: Übersicht der Passpunktmessungen bezogen auf die GPS-Koordinate. Von links nach rechts: Passpunkte Nr. 2409, 2733 und 9001.

Eine Darstellung der Streuung der Punktmessungen bezogen auf die GPS-Koordinate zeigt Abb. 14, mit den beispielhaft ausgewählten Punkten 2409, 2733 und 9001. Die Kreise kennzeichnen die 5cm und 10cm Abstände zur GPS Koordinate. Die blauen Symbole zeigen für die stereophotogrammetrische Messung die für den Modellbereich gemittelte Passpunktmessung, die roten Symbole die gemittelte Passpunktkoordinate für die Messungen im Randbereich. Die violetten Symbole zeigen die aus den Dreifachmessungen gemittelte Punktlage je Stereomodell. Die Messungen des LGV in den DMC Bildern sind in grün dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Bildmessungen recht nah als Cluster beieinander liegen, wobei die Punktmessungen in den ADS Bildern klar erkennbare systematische Abweichungen aufzeigen.

Für die Punktmessungen in den ADS40 Bilddaten zeigt Tab. 9 größere Differenzen für den Mittelwert der Messungen in x- und y-Richtung von fast 0,5 Pixel auf. Hier liegen systematische Abweichungen vor, die der Zuweisung des Pixelursprungs entstammen, so dass in einem Vorverarbeitungsschritt eine falsche Zuordnung der „Pixelmitte“ bzw. der „linken oberen Ecke“ auftrat. Wird der systematische Anteil abgespalten, liegt die Standardabweichung der Punktmessung wie bei den anderen Sensoren bei ca. 0,25 Pixel in Lage und Höhe.

Die Höhenmessungen der RAG und des LGV in den DMC Bildern zeigen, verglichen mit der Sollhöhe aus den GPS Koordinaten, dass die Messung der RAG am NuVision Stereovorsatz um ca. 2cm niedriger liegt, die Stereomessungen des LGV am PLANAR-System liegen im Schnitt etwa 4cm höher.

Es ist zu erkennen, dass die stereophotogrammetrischen Höhenmessungen, bezogen auf die Soll-Koordinate der GPS Messungen, in den Randbereichen der RMK, DMC und UCX schlechter werden. Die Lageabweichungen nehmen für die Digitalkameras sogar noch etwas größere Werte an, als für die RMK. Aus diesem Grunde sollten auch bei Digitalen Flächensensorkameras die Stereomessungen nur im zentralen Modellbereich erfolgen.

3 Zusammenfassung

Die Auswertung und Vergleiche der stereophotogrammetrischen Messungen in den Bilddatensätzen der RMK, DMC, UCX, ADS und DigiCAM legen den starken Einfluss des Wetters, insbesondere der Sonneneinstrahlung offen. Das unterschiedliche Wetter an den Bildflugtagen machte eine direkte und aussagekräftige Bewertung kameraspezifischer Eigenschaften unmöglich.

Die Stereoauswertung mit den Bildern der RMK, DMC und UCX konnte wie gewöhnlich an der Stereoauswertestation unter LPS/PRO600 durchgeführt werden.

Die Bearbeitung der ADS Bilddaten konnte unter LPS/PRO600 in den Level1 Bildern erfolgen. Da die Farbinformation bei der ADS in der originalen Pixelgröße vorliegt, zeichnen sich die ADS Bilder durch höchste Detailschärfe und Objekterkennung aus. Die ADS Bilddaten in 8cm GSD sind durch einen systematischen Lagefehler von 0,5 Pixel beeinflusst, welcher in der Bildprozessierung über die Zuordnung des Pixelursprungs (Bildmitte / linke obere Ecke) begründet ist.

Bei der Beurteilung der DigiCAM muss berücksichtigt werden, dass der Kamerakopf Nr. 127 defokussierte Bilder aufzeichnete, die zu großen lokalen Modellfehlern führen. Der Umgang mit

den zur Verfügung gestellten vier Einzelbildern der DigiCAM war sehr gewöhnungsbedürftig. Nach Aussage der Fa. IGI können die vier Einzelbilder mittlerweile zu einem großen Einzelbild gemergt werden.

Es konnte eine Höhendifferenz von ca. 1 Pixel zwischen Stereomessungen in analogen gescannten und digitalen Stereomodellen aufgezeigt werden. Die Messungen in den 8cm GSD Bilddaten der Flächensensorkameras liegen um ca. 6 cm bis 7 cm höher als in den 20cm GSD Luftbildern, und um 18cm höher verglichen zu den analogen, gescannten Luftbildern der RMK. Die Stereomessungen in den 8cm GSD Bilddatensätzen liegen hingegen für die digitalen Luftbilder der Mehrzeilenkamera ADS40 etwa 5cm bis 6cm niedriger als in den 20cm GSD Bildern. Diese Höhenunterschiede sind zwingend zu beachten, wenn Vergleiche zwischen diesen unterschiedlichen Bilddaten bzw. Epochenvergleiche photogrammetrischer Höhenmessungen durchzuführen sind.

Weitere Unterschiede der Höhenmessungen wurden durch die Vergleiche zwischen dem NuVision- und dem PLANAR-Stereobetrachtungssystem ersichtlich. Die Höhenmessungen mit dem PLANAR-System lagen um etwa 0,8 bis 1,0 Pixel tiefer.

Die Untersuchungen zur persönlichen Einstellgenauigkeit ergaben in 8cm GSD Bildern bei RAG aus etwa 2800 Einzelmessungen etwa 0,4cm für die Lage und ca. 0,5cm für Höhenmessungen. Beim LGV konnte aus 114 Einzelmessungen eine weniger repräsentative Einstellgenauigkeit von etwa 2cm für die Lage und ca. 3,5cm für Höhenmessungen abgeleitet werden. Die Abweichungen der Punktmessungen im Stereomodell zur GPS Soll-Koordinate liegen bei etwa 0,25 Pixel in der Lage und bis 0,5 Pixel für die Höhe.

Es kann keine grundsätzliche Empfehlung für oder gegen einen Kameratyp gegeben werden. Bei den Flächensensor-Kameras dominierte der Wittereinfluss die Ergebnisse des Stereoplottings. Die Mehrzeilenkamera ADS40 besticht durch die klaren Bilddaten und auch durch die Genauigkeit. Eine Entscheidung über die zu verwendende Kamera sollte gründlich bezüglich des Verwendungszwecks, der technischen Möglichkeiten der Kameras und der ökonomischen Rahmenbedingungen erfolgen.

4 Literaturverzeichnis

- ARIAS, B.; GOMEZ, J., 2007: Stereoscopic Accuracy. In: ISPRS Hannover Workshop 2007 "High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information", The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Hannover, Germany, Vol. XXXVI - 1/W51, 2007. Auf CD-ROM.
- BUSCH, W., 1989: Großräumige photogrammetrische Bodenbewegungsmessungen. In: Das Markscheidewesen 96, Heft 4, 1989, S. 323 - 327.
- JACOBSEN, K.; CRAMER, M.; LADSTÄDTER, R.; RESSL, C.; SPRECKELS, V., 2010: DGPF Projekt: Evaluierung digitaler photogrammetrischer Kamerasysteme – Themenschwerpunkt Geometrie. Dieser Tagungsband 19 / 2010, Jahrestagung DGPF Wien.

- LÜTZENKIRCHEN, K., 1974: Der erste Versuch einer großflächigen aerophotogrammetrischen Höhenaufnahme hoher Genauigkeitsforderung im Ruhrgebiet. In: Schriftenreihe Lagerstätten erfassung und -darstellung, Bodenbewegungen und Bergschäden, Ingenieurvermessung. Heft 6. Aachen: Institut für Markscheidewesen der RWTH Aachen 1974.
- NEUMANN K. J., 2004: Operational aspect of digital aerial mapping cameras. In: The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Istanbul, Turkey, Vol. XXXV, Part B1, 2004, pp. 222-225.
- PERKO, R.; KLAUS, A.; GRUBER, M., 2004: Quality comparison of digital and film-based images for photogrammetric purposes. In: The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Istanbul, Turkey, Vol. XXXV, Part B1, 2004, pp.1136-1141.
- SPRECKELS, V.; SCHLIENKAMP, A.; JACOBSEN, K., 2008: Geometric Characteristics of Digital Frame Cameras. In: Proceedings of EARSeL Joint Workshop "Remote Sensing - New Challenges of High Resolution", Ruhr-Universität Bochum, Deutschland, 2008. Auf CD-ROM.
- SPRECKELS, V.; SYREK, L.; SCHLIENKAMP, A., 2010: DGPF-Project: Evaluation of Digital Photogrammetric Camera Systems – Stereoplotting. In: PFG 02/2010, S. 117 - 130.
- TALAYA, J.; KORNUS, W.; ALAMÚS, R.; SOLER, E.; PLA, M.; RUIZ, A., 2008: Analyzing DMC Performance in a Production Environment. In: The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, China, Vol. XXXVII, Part B4, 2008, pp. 1183-1188.