

# DGPF Projekt: Evaluierung digitaler photogrammetrischer Luftbildkamarasysteme - Themenschwerpunkt Höhenmodelle

NORBERT HAALA<sup>1</sup>, HEIDI HASTEDT<sup>2</sup>, CAMILLO RESSL<sup>3</sup>, KIRSTEN WOLF<sup>4</sup>,

*Zusammenfassung: Ein zentraler Punkt des DGPF-Projektes zur Evaluierung digitaler photogrammetrischer Luftbildkamarasysteme war die Qualitätsanalyse der photogrammetrischen 3D Erfassung mittels automatischer Bildzuordnung. Die Bewertung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der aus den Bilddaten des Projektes generierten 3D Daten erfolgte durch Vergleich zu terrestrischen Referenzmessungen und flugzeuggestützt erfassten LiDAR Daten. Zusätzlich wurde die Nutzbarkeit der Höhendaten für Anwendungen beispielsweise im Kontext der 3D Stadtmodellierung und Forstwirtschaft untersucht. Der eingereichte Beitrag fasst die Ergebnisse der Arbeitsgruppe Genauigkeit der Höhenmodellgenerierung zusammen und dokumentiert so den aktuellen Stand der Entwicklungen im Hard- und Softwarebereich.*

## 1 Einleitung

Großer Dynamikbereich und gutes Signal-Rauschverhalten im Vergleich zu gescannten analogen Luftbildern sind bekannte Vorteile digitaler photogrammetrischer Luftbildkamaras. Diese Eigenschaften digitaler Bilder sind entscheidend für die erreichbare Genauigkeit und Zuverlässigkeit automatischer Bildzuordnungsverfahren. Die Qualität von aus Bildzuordnung erzeugten photogrammetrischen Produkten wie digitale Höhenmodelle kann somit in erheblichem Maß vom Einsatz digitaler Kamerasysteme profitieren. Dies sollte anhand des umfangreichen Datenmaterials des DGPF Projektes untersucht werden. Hierfür wurde innerhalb des Projektes zur *Evaluierung digitaler photogrammetrischer Luftbildkamarasysteme* eine Arbeitsgruppe *Höhenmodelle* etabliert, deren Ergebnisse die Grundlage dieses Artikels bilden und zusammenfassend dargestellt werden.

Für die vorgestellten Untersuchungen wurden die kommerziellen Auswertepakete Next Generation Automatic Terrain Extraction (NGATE) von BAE Systems [DEVENECIA, ET. AL, 2007], MATCH-T DSM der INPHO GmbH [LEMAIRE, 2008] und SATellite image Precision Processing (SAT-PP) der ETH Zürich [ZHANG & GRUEN, 2004] verwendet. Solche Programmsysteme zur bildbasierten Generierung von Höhenmodellen sind teilweise schon mehr als zwei Jahrzehnten auf dem Markt, wurden in der letzten Zeit jedoch erheblich weiterentwickelt, um neben der traditionellen Stereobildzuordnung eine hochredundante Mehrfachbildzuordnung für eine dichte Erzeugung von 3D Daten zu nutzen. Dadurch lassen sich insbesondere stark überlappende Bildverbände, wie sie durch digitale Kamerasysteme erfasst werden, effektiv auswerten.

---

<sup>1</sup> Norbert Haala, Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, Geschwister-Scholl-Str. 24D, 70174 Stuttgart; E-Mail: Norbert.Haala@ifp.uni-stuttgart.de

<sup>2</sup> Heidi Hastedt, Fachhochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Ofener Str. 16/19, D-26121 Oldenburg, heidi.hastedt@jade-hs.de

<sup>3</sup> Camillo Ressler, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, 1040 Wien, Gußhausstraße 27 - 29, car@ipf.tuwien.ac.at

<sup>4</sup> Kirsten Wolf swisstopo, Seftigenstrasse 264, CH-3084 Wabern, kirsten.wolff@swisstopo.ch

Der Einfluss der Bildqualität auf das Ergebnis der Höhenmodellgenerierung war ein Schwerpunkt der Untersuchung des DGPF Projektes. Wichtig in diesem Zusammenhang ist die Genauigkeit der rekonstruierten Aufnahmegeometrie, die wiederum abhängt von der Bildblockkonfiguration, der Stabilität der Kamerageometrie und der Zuverlässigkeit des mathematischen Kameramodells. Die ebenfalls wichtige radiometrische Bildqualität ergibt sich vor allem aus dem Signal-Rauschverhältnis des digitalisierten Bildsignals. Diese wird sowohl von der Qualität des Sensorsystems als auch von der Beleuchtung und Textur der abgebildeten Oberflächen beeinflusst. Neben der in Kapitel 3 beschriebenen vergleichenden Analyse von bildbasierten Höhenmessungen ist deren Nutzbarkeit für verschieden Anwendungen von großem praktischen Interesse. Dies wird in Abschnitt 4 für Anwendungsbeispiele wie die Erzeugung von 3D Stadtmodellen und forstwirtschaftliche Anwendungen diskutiert, wobei im folgenden Abschnitt 2 zunächst die innerhalb des DGPF Projektes verfügbaren Test- und Referenzdaten vorgestellt werden. Eine umfangreiche Darstellung der in diesem Projekt durchgeführten Untersuchungen und Ergebnisse enthält [HAALA ET.AL., 2010].

## 2 Testzenarium und verfügbare Referenzdaten

Die bildbasierte Erfassung von Höhendaten wird potentiell durch unterschiedliche Bodenauflösungen (ground sample distance [GSD]) und Überdeckungen beeinflusst. Zur Untersuchung solcher Effekte wurden hierfür sowohl Bildblöcke mit nominell 20cm GSD und 60% Längs- und Querüberdeckung als auch Flüge mit GSD 8cm und 80% Längs- und 60% Querüberdeckung in unterschiedlichen Flughöhen erfasst. Aufgrund der unterschiedlichen Kamerageometrie und Zwangsbedingungen durch die verfügbaren Paßpunkte ergaben sich geringfügige Abweichungen von der vorgegebenen Konfiguration. Die Parameter der untersuchten Kamerasysteme und die Konfigurationen der Bildflüge sind in [CRAMER, 2010] ausführlich dokumentiert.

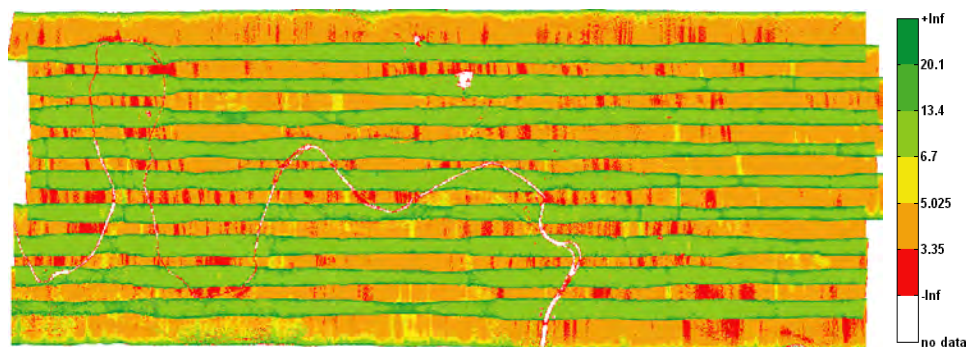


Abb. 1: Farbkodierte Punktdichte für alle 10 LiDAR Streifen, Legende bezogen auf Punkte/m<sup>2</sup>

Für die Untersuchungen der Arbeitsgruppe *Höhenmodelle* sind DOM Raster mit 0.2m/0.25m und 0.5m Gitterweite für den zentralen 5.0x2.7km<sup>2</sup> großen Bereich des Testgebiets erstellt und von den Teilnehmern anhand von 63 verfügbaren Kontrollpunkten überprüft worden. Um neben dieser punktuellen Kontrolle der Höhendaten auch flächendeckende Analysen zu ermöglichen, standen LiDAR Daten zur Verfügung. Diese wurden während der Messkampagne mit einem Leica ALS50 System in insgesamt 10 Fluglinien bei 45°FOV und einer Flughöhe von 500m über Grund erfasst. Die mittlere Überlappung der Streifen liegt bei 30%. In nur von einem Streifen

abgedeckten Bereichen betrug die Punktdichte  $4 \text{ Pkte/m}^2$ , im Mittel ergab sich eine Dichte von  $6.7 \text{ Pkte/m}^2$ . Wie die farbkodierte Darstellung der Punktdichte aller Streifen in Abb. 1 zeigt war diese jedoch erheblichen Schwankungen unterworfen.

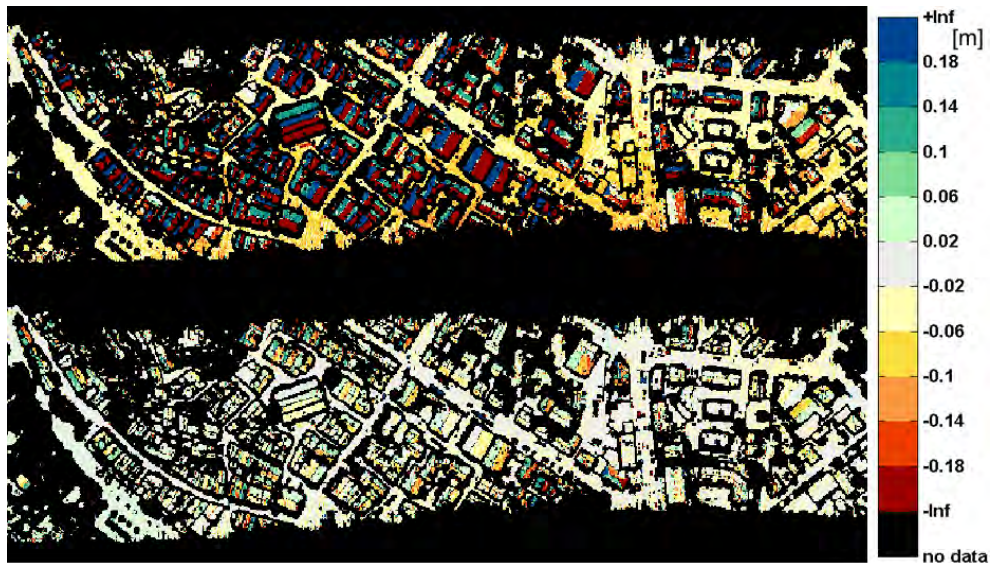


Abb. 2: Farbgekodierte Differenzen für LiDAR Streifen vor (oben) und nach (unten) Korrektur der Georeferenzierung durch Streifenausgleichung

Zur Verbesserung der Georeferenzierung wurde eine streifenweise Korrektur der LiDAR Daten durchgeführt. Dabei wurde die relative Orientierung der LiDAR-Streifen anhand der Differenzen überlappender Streifen kontrolliert [RESSL et al., 2008]. Die Minimierung systematischer Fehler wie Misalignment erfolgte durch eine streifenweise Ausgleichung [KAGER, 2004]. Hierfür wurden die Trajektorien der Streifen aus GNSS/INS Messungen sowie 1110 korrespondierende Ebenen zwischen den Streifen genutzt. Zusätzlich konnten 49 ebene Bereiche in den DMC Bildern mit 8cm GSD bestimmt und im Rahmen einer Streifenausgleichung analog zu Passpunkten einer Bündelblockausgleichung eingesetzt werden. Abb. 2 zeigt die farbgekodierten Differenzen der Streifen vor (oben) und nach (unten) der Streifenausgleichung, wobei die Elimination der systematischen Fehler deutlich sichtbar ist. Die aus dem Median der absoluten Streifendifferenzen berechnete Standardabweichung  $\sigma_{\text{MAD}}$  verbesserte sich dabei von 4.5cm auf 2.9cm.

### 3 Genauigkeitsuntersuchungen für DOM und Punktwolken

Zur ersten Abschätzung der Qualität wurden vertikale Differenzen zwischen den berechneten DOM Daten und den im Testgebiet verfügbaren signalisierten und mit statischem GPS eingemessenen Referenzpunkten genutzt. Hierfür wurden zum Einen DOMs mit 0.2m Gitterweite für eine Auswahl der verfügbaren 8cm GSD Bilder berechnet, zum Anderen aus den 20cm GSD Bildblöcken DOMs mit 0.5m Rasterweite abgeleitet. Die Analyse dieser Differenzen ist in Tab. 1 zusammengefasst. Spalte 3 zeigt die RMS Werte aus den Differenzen zwischen den DOM und den signalisierten Punkten. Die Analyse aller Differenzen ergab, dass die größten Werte durch potentielle Verdeckungen der signalisierten Punkte im jeweiligen Bildmaterial verursacht

wurden. Zur Vereinheitlichung der Ergebnisse wurden diese groben Fehler vor Berechnung der RMS-Werte eliminiert. Neben der Anzahl der verbleibenden Punkte sind in Tab. 1 noch die mittlere sowie größte und kleinste Abweichung – ebenfalls in Bezug auf die gefilterten Punkte – enthalten.

	Sensor	RMS[cm] gefiltert	Mittel[cm]	$\Delta$ Max/Min[cm]		# Punkte
LiDAR	ALS 50	3.3	0.4	9.4	-6.7	59
GSD 8cm Raster 0.2m	DMC	3.3	0.9	9.5	-6.9	60
	UltraCamX	4.8	0.6	11.7	-10.0	60
	DigiCAM	6.0	-1.7	15.5	-15.7	61
	RMK	4.6	2.4	8.2	-11.5	61
GSD 20 cm Raster 0.5m	DMC	16.2	-7.5	36.9	-30.5	61
	UltraCamX	7.5	-0.7	14.9	-16.8	60
	DigiCAM	9.6	0.5	18.9	-23.1	61
	RMK	9.5	0.7	23.9	-25.9	61

Tab. 1: Differenzen zwischen DOM und Kontrollpunkten nach Elimination grober Fehler – MATCH-T DSM

	Sensor	RMS[cm] gefiltert	Mittel[cm]	$\Delta$ Max/Min[cm]		# Punkte
GSD 8cm Raster 0.25m	ADS 40	6.7	-1.1	13.9	-18.1	57
	DMC	4.4	-1.2	9.0	-8.8	53
	UltraCamX	7.2	1.6	16.1	-11.8	59
GSD 20 cm Raster 0.5m	ADS 40	4.8	1.9	12.9	-8.8	60
	DMC	19.0	-2.7	51.3	-31.4	61
	UltraCamX	11.5	1.6	27.2	-21.6	61

Tab. 2: Differenzen zwischen DOM und Kontrollpunkten nach Elimination grober Fehler – NGATE

Zusätzlich zur Berechnung der DOM mit dem Programmsystem MATCH-T DSM erfolgte eine Berechnung mit dem Programmsystem NGATE. Die zugehörigen Ergebnisse zeigt Tab. 2. Die Ergebnisse aller Differenzanalysen stimmen gut mit der vertikalen Komponente der zuvor durchgeführten Bündelblockausgleichung überein, die  $\frac{1}{2}$  GSD beträgt [JACOBSEN ET.AL., 2010]. Insbesondere bei der Auswertung der 8cm GSD Flüge kann annähernd die Genauigkeit von 3.3 cm des DOM aus der LiDAR Messung erreicht werden. Die im Testgebiet verfügbaren Kontrollpunkte wurden in der Regel auf asphaltierten Flächen kleinerer Straßen oder Parkplätze signalisiert. Dies ist natürlich vorteilhaft für die Filterung und Interpolation während der bildbasierten Erzeugung der DOMs. Dadurch sind die Resultate in Tab. 1 und Tab. 2 für geometrisch komplexe Bereiche recht optimistisch. Als Alternative wurden deshalb zusätzlich 3D Punktwolken im Bereich eines (ebenen) Sportplatzes untersucht. Die MATCH-T DSM Ergebnisse für die 8cm GSD Bilddaten sind exemplarisch in Abb. 3 und Tab. 3 dargestellt, zusätzliche Beispiele für die 20cm GSD Bilddaten finden sich in [HAALA ET.AL., 2010].

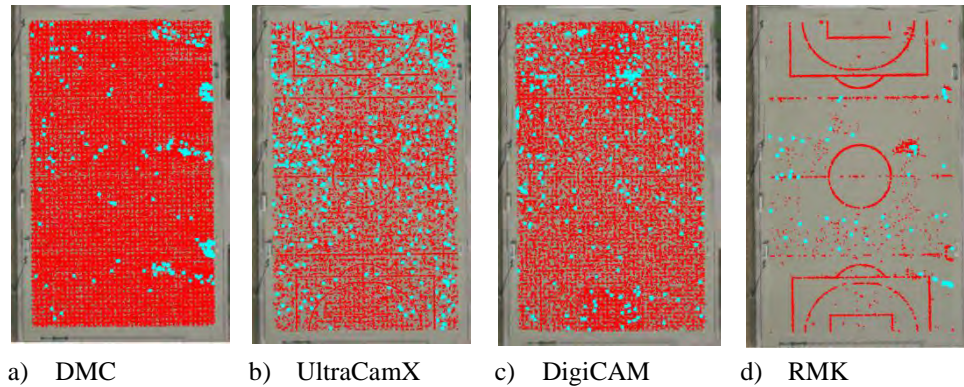


Abb. 3: Punktwolke aus 8cm GSD Bildern, generiert durch MATCH-T DSM

Sensor	STD [cm] nach Filter		STD [cm] vor Filter		Elim.Pkte [%]		Dichte Pkte/m <sup>2</sup>	
	M-T	NGATE	M-T	NGATE	M-T	NGATE	M-T	NGATE
DMC	5.2	2.1	9.7	2.3	1.3	0.9	19.7	8.2
UltraCamX	6.8	13.1	8.0	15.6	0.4	1.5	19.0	8.2
DigiCAM	10.2		11.2		0.7		20.8	
ADS 40		2.3		2.6		0.7		8.2
RMK	17.2		27.3		3.2		0.8	
ALS 50	1.8		1.9		0.5		8.25	

Tab. 3: Genauigkeit der 3D Punktwolken aus MATCH-T DSM und NGATE für GSD 8cm

Die Berechnung der Punktwolken erfolgte wiederum durch die Programmsysteme MATCH-T DSM und NGATE. Zur Bewertung der erreichten Genauigkeit wurde für jede 3D Punktwolke eine ausgleichende Ebene berechnet, und aus dem senkrechten Abstand die zugehörige Standardabweichung der Punkte bestimmt. Um eine Beeinflussung der Ergebnisse durch sich bewegendende Schlagschatten beispielsweise von Flutlichtmasten zu verhindern, wurden nach der ersten Berechnung der ausgleichenden Ebene jeweils alle 3D Punkte eliminiert, die einen Abstand größer  $3 \cdot \text{RMS}$  aufweisen. Diese Punkte sind in Abb. 3 jeweils hellblau markiert. Tab. 3 beinhaltet die RMS Werte jeweils vor und nach dem Filterprozess und gibt den Prozentsatz der so eliminierten Punkte an. Abb. 3 und Tab. 3 zeigen hohe Punktdichten, die sich insbesondere für die 8cm GSD Daten durch das eingesetzte Multi-Image-Matching mit MATCH-T DSM erreichen lassen. Die Genauigkeiten liegen zwar über dem sehr geringen Wert der LiDAR-Punktwolken, sind aber für viele Anwendungen bereits ausreichend. Neben der sehr vielversprechenden Qualität der Ergebnisse für alle digitalen Aufnahmesysteme bleibt anzumerken, dass ein systemübergreifender Vergleich insbesondere aufgrund der unterschiedlichen Aufnahmebedingungen während der jeweiligen Flugtage nur sehr bedingt möglich ist. Gut möglich ist jedoch der Vergleich zwischen DMC- und RMK-Aufnahmen da diese Bilder im Rahmen eines Doppelkamerafluges und damit unter identischen Bedingungen erfasst wurden. Hier zeigen die Untersuchungen klar die Vorteile der digitalen Bildaufnahme für die anschließende Bildzuordnung.

## 4 Nutzbarkeit von Höhendaten aus Bildzuordnung

Dichte und genaue Höhendaten werden für eine Reihe von Anwendungen benötigt. Beispiele sind die 3D Visualisierung digitaler Landschaftsmodelle, die Erfassung von 3D Gebäudemodellen oder die Berechnung von Digitalen Geländemodellen. Vor allem wenn Luftbilder bereits für andere Zwecke erfasst werden, ist die Bildzuordnung ökonomischer als der Einsatz zusätzlicher Sensoren wie LiDAR. Die Untersuchung der Nutzbarkeit von Höhendaten aus der Bildzuordnung im Rahmen von weiteren Auswerteschritten ist damit von großem Interesse.



Abb. 4: DOM aus Bildzuordnung (links) und LiDAR (Mitte) und berechnete Differenzen (rechts)

Abb. 4 stellt beispielhaft ein DOM abgeleitet aus der DMC 8cm GSD Befliegung und den ALS 50 LiDAR Daten gegenüber. Die visuelle Analyse der Differenzen auf der rechten Seite zeigt nur geringe Abweichungen zwischen dem jeweiligen rekonstruierten Oberflächen, die vor allem im Bereich von Vegetation liegen. Da die Bilddaten am 24. Juli 2008 und die LiDAR Daten am 21. August 2008 aufgenommen wurden, lassen sich diese Unterschiede auch auf Pflanzenwachstum bzw. Ernte zurückführen. Darüber hinaus werden aufgrund der beiden verschiedenen Messprinzipien unterschiedliche Oberflächengeometrien für Vegetationsbereiche erfasst. LiDAR Pulse dringen beispielsweise teilweise in Baumkronen ein, während Bildzuordnung die Geometrie der sichtbaren Oberfläche rekonstruiert. Solche Effekte sind vor allem dann wichtig, wenn die erfassten Höhendaten für forstwirtschaftliche Anwendungen genutzt wird.

### 4.1 Forstwirtschaftliche Anwendungen

Aus einem dichten genauen und aktuellen digitalen Oberflächenmodell lässt sich bei Verfügbarkeit eines Digitalen Geländemodells in Waldgebieten über einfache Differenzbildung ein Kronenhöhenmodell ableiten. Dieses liefert Höhen- und 3D Strukturinformation wie sie für eine Reihe forstwirtschaftlicher Arbeiten benötigt wird. Bis dato fanden zumeist LiDAR Daten Verwendung bei der Bestimmung von Kronenhöhenmodellen. Durch die Verfügbarkeit neuer Bilddaten und Algorithmen zur Bestimmung von Digitalen Oberflächenmodellen können jedoch neue Genauigkeitsbereiche erzielt werden, die den Einsatz von DOM via Bildmatching ermöglichen. Hierdurch kann vor allem eine dynamische Landschaftsveränderung jeweils aus aktuellem, zumeist ohnehin vorhandenem, Bildmaterial modelliert werden. Zur Abschätzung der Kronenhöhen unterschiedlicher Erfassungsmethoden dienen verschiedene Untersuchungen. Es wurden jeweils Differenzen gebildet zwischen den mit NGATE generierten DSM, den LiDAR Original-

daten, den korrigierten LiDAR Daten (siehe Kapitel 2) sowie zu ~110 im Stereomodell gemessenen 3D Punkten. Die Ergebnisse sind in Tab. 4 zusammengefasst.

Sensor	IST	Soll	Mittelwert	RMS
			[m]	[m]
ADS 40	DOM	Stereo	0.3	0.5
	LiDAR	Stereo	-0.7	2.7
	DOM	LiDAR	2.0	4.2
	DOM	LiDARcorr	1.9	4.1
DMC	DOM	Stereo	0.2	0.8
	LiDAR	Stereo	-0.3	1.9
	DOM	LiDAR	1.8	4.2
	DOM	LiDARcorr	1.7	4.0
UltraCamX	DOM	Stereo	0.2	0.5
	LiDAR	Stereo	-0.4	1.9
	DOM	LiDAR	1.8	4.1
	DOM	LiDARcorr	1.7	4.0

Tab. 4: Abweichungen zwischen DOM, LiDAR und 3D Punkte aus Stereomessungen

Der Trend der Abweichungen ist ähnlich für alle getesteten Datensätze. Die DOMs liegen hierbei durchschnittlich 25cm oberhalb der 3D Punktmessungen, wobei wiederum die 3D Punktmessungen oberhalb der LiDAR Daten resultieren. Aufgrund der höheren Punktdichte der LiDAR und DOM Daten kann angenommen werden, dass die Abweichungen zwischen diesen Datensätzen zuverlässiger sind. Abb. 5 zeigt für den Untersuchungsbereich je ein Orthophoto-Ausschnitt des analysierten Bereiches sowie eine farbcodierte Darstellung des Differenzmodelles DOM – minus – LiDAR.

Die Untersuchungsergebnisse für forstwirtschaftliche Anwendungen zeigen ähnliche Trends für die unterschiedlichen Datensätze. Die Korrektur der LiDAR Daten (Kapitel 2) zeigte für dieses Einsatzgebiet keine deutliche Verbesserung in den Abweichungen. Die Ergebnisse verdeutlichen das hohe Potential neuer Bilddaten und Matchingmethoden für Gebiete forstwirtschaftlicher Nutzung. Sie zeigen aber dennoch Diskrepanzen auf, die weitere Untersuchungen erfordern, vor allem in Hinblick auf die Bestimmung absoluter Genauigkeitsaussagen und die Anwendbarkeit auf Gebiete unterschiedlicher Vegetation.

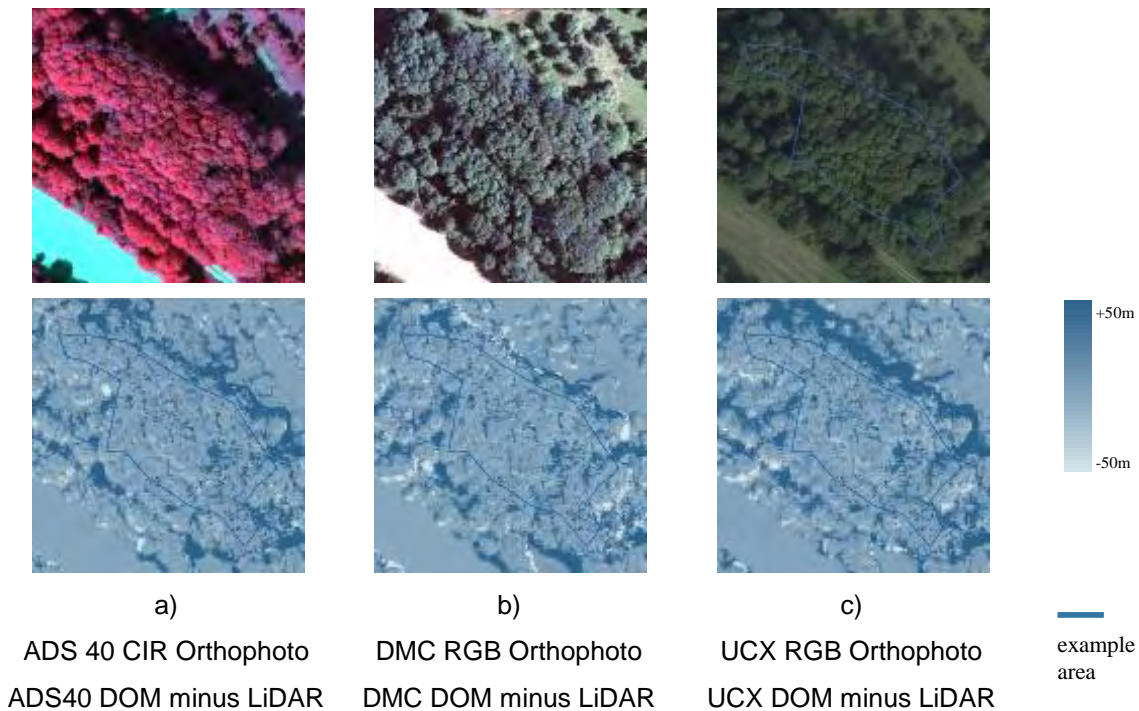


Abb. 5: Bildausschnitte und Differenzdarstellung zwischen DOM und LiDAR Daten

## 4.2 Stadtgebiete

Eine erste Analyse des Potentials der Bildzuordnung für die Oberflächengenerierung in bebauten Gebieten wurde anhand visueller Vergleiche durchgeführt. Die obere Reihe in Abb. 6 zeigt ein DOM für ein 115m langes Gebäude aus LiDAR Daten (links), DMC 8cm GSD (Mitte) und DMC 20cm GSD (rechts), die mit dem Softwarepaket SAT-PP erzeugt wurden. Die schattierten Darstellungen der DMC DOMs demonstrieren generell eine gute Qualität und eine hohe Auflösung der Modelle. Die Oberflächen der LiDAR Daten weisen eine relativ glatte Struktur auf. Demgegenüber enthalten die DMC DOMs 8cm GSD teilweise mehr Details, wie zum Beispiel kleine Strukturen auf dem Dach des Gebäudes. Dies ist dadurch erklärbar, dass das LiDAR DOM aus einer Punktwolke mit circa 6 Pkte/m<sup>2</sup> abgeleitet wurde und so diese kleinen Strukturen nicht erfasst werden konnten. Deutliche Unterschiede in den Modellen sind durch parkende Autos verursacht worden. Ein Vergleich der Profile des LiDAR DOMs, Abb. 6 d) und des DMC DOMs 8cm GSD, Abb. 6 e) unterstreichen das Potential der DMC Daten für diese Anwendung. Das Profil zeugt deutlich die Struktur des Gebäudes mit relativ scharfen Kanten und unterstreicht, dass sich die Höhenmodellgenerierung aus Bildmatching moderner digitaler Kameradaten dem Qualitätsbereich von LiDAR Daten annähert. Die schattierte Darstellung des Oberflächenmodells, generiert aus den 20 cm GSD Bildern, zeigt ein größeres Rauschen in Form von Unebenheiten in der generierten Oberfläche als bei der kleineren GSD und erwartungsgemäß weniger scharfe Kanten.



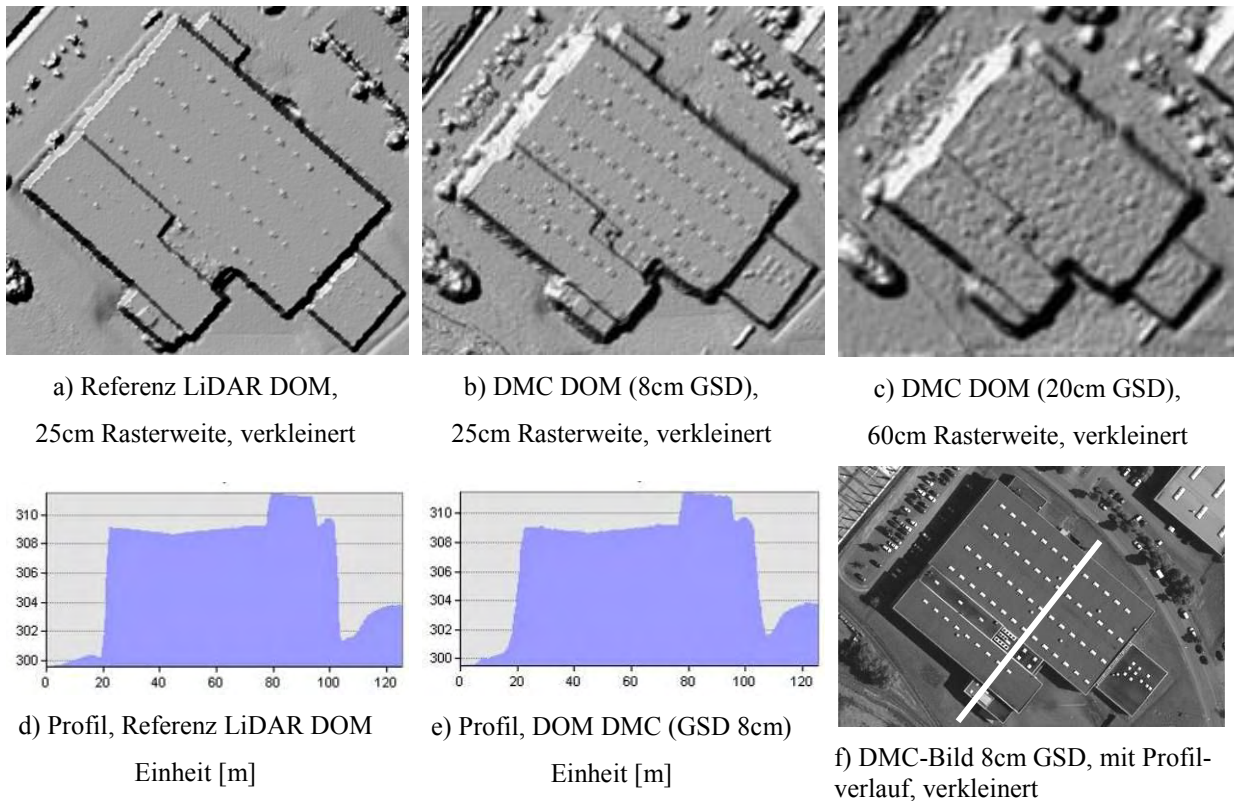


Abb. 6: Visueller Vergleich der Referenzdaten, des DMC (8cm GSD) DOMs, des DMC (20cm GSD) DOMs eines großen Gebäudes mit einer Längenausdehnung in NW – SO Richtung von ca. 115m

## 5 Zusammenfassung

Die Untersuchungen zur Genauigkeit der Höhenmodellgenerierung zeigen deutlich die Vorteile der digitalen Bildaufzeichnung für Verfahren der automatischen Bildzuordnung. Bilddaten moderner Luftbildkameras erlauben die automatische Ableitung von 3D Punktwolken und 2.5D Raster in einer Qualität, die in der Vergangenheit nur durch den Einsatz von flugzeuggestützten LiDAR Messungen möglich war. Insbesondere durch Mehrfachbildzuordnung können Höhendaten generiert werden, die sich für die Erzeugung von 3D Gebäudemodellen, forstwirtschaftliche Anwendungen, 3D Landschaftsvisualisierung und zumindest teilweise für die Erzeugung und Nachführung Digitaler Geländemodelle nutzen lassen.

## 6 Literaturverzeichnis

BÖSCH, R., GINZLER, C., WANG, Z., 2007: Von Decken und Lücken. Landesforstinventar (LFI) Info Nr. 8, Dezember 2007, Eidgenössische. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf, 1-4, download [www.lfi.ch](http://www.lfi.ch)

CRAMER, M.: 2010, The DGPF-test on Digital Airborne Camera Evaluation – Overview and Test Design. PFG 02/2010.

- DEVENECIA, K., WALKER, S. & ZHANG, B., 2007: New Approaches to Generating and Processing High Resolution Elevation Data with Imagery. *Photogrammetric Week*, **17** (5), S. 1442-1448.
- HAALA, N., HASTEDT, H. WOLF, K., RESSL, C. & BALTRUSCH, S., 2010: Digital Photogrammetric Camera Evaluation – Generation of Digital Elevation Models, PFG 02/2010
- HEINZEL, J., WEINACKER, H., KOCH, B. 2008: Full automatic detection of tree species based on delineated single tree crowns - a data fusion approach for airborne laser scanning data and aerial photographs. *SilviLaser 2008*, 8<sup>th</sup> international conference on LiDAR applications in forest assessment and inventory, Edinburgh, UK, pp 76-85
- HEURICH M. SCHADECK S., WEINACKER H. AND P. KRZYSZEK, 2004: Forest Parameter Derivation From DTM/DSM Generated From LiDAR And Digital Modular Camera (DMC). *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Volume XXXV. Part B. pp. 84-89.
- JACOBSEN, K., CRAMER, M., LADSTÄDTER, R., RESSL, C. SPRECKELS, V., 2010: DGPF project: Evaluation of digital photogrammetric camera systems - geometric properties , PFG 02/2010
- KAGER, H., 2004: Discrepancies between overlapping laser scanning strips - simultaneous fitting of aerial laser scanner strips. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXV, B/1, Istanbul, Turkey, pp. 555–560.
- LEMAIRE, C., 2008: Aspects of the DSM Production with High Resolution Images IAPRS, Volume XXXVII, Part B4, S. 1143-1146.
- PERSSON, A., HOLMGREN, J., SÖDERMAN, U., OLSSON, H., 2002: Detecting and Measuring Individual Trees using an Airborne Laser Scanner, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 68. No. 9, pp.925-932
- RESSL, C., KAGER, H., MANDLBURGER, G., 2008: Quality checking of ALS projects using statistics of strip differences. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXVII, pp. 253 – 260.
- ST-ONGE, B., ACHAICHA, N., 2001: Measuring forest canopy height using a combination of LiDAR and aerial photography data. *IAPRS*, Volume 34-3/W4, pp 131-137
- WASER, L.T., GINZLER, C., KÜCHLER, M., LANZ, A., BALTSAVIAS, E., 2009: Semiautomatic prediction of main tree species using multi-temporal ADS 40 data. McRoberts, R. (ed) *Proceedings of the IUFRO Division 4 Symposium on Extending Forest Inventory and Monitoring over space and time*
- ZHANG, L. & GRUEN, A., 2004: Automatic DSM Generation from Linear Array Imagery Data. *IAPRS*, **35** (B3), S. 128-133.