

Digitale photogrammetrische Luftbildkamarasysteme - Evaluation der automatischen Generierung von Höhenmodellen

NORBERT HAALA¹ & KIRSTEN WOLFF²

Zusammenfassung: Im Rahmen des DGPF-Projekts zur Evaluierung digitaler Kamerasysteme beschäftigt sich das Auswerteteam Höhenmodelle mit den Genauigkeitsuntersuchungen zur automatischen bildbasierten Erzeugung von Höhendaten. Im Artikel werden die verfügbaren Daten und Projektparameter sowie das Untersuchungskonzept vorgestellt. Aufgrund des noch laufenden Projektes ist eine vergleichende Untersuchung der eingesetzten Systeme noch nicht möglich. Die präsentierten ersten Ergebnisse dokumentieren jedoch die erheblich gesteigerte Genauigkeit und Zuverlässigkeit der automatischen, bildbasierten Erzeugung von Höhendaten, die in den aktuellen Entwicklungen im Bereich der digitalen Luftbildkamaras und der photogrammetrischen Auswertesysteme begründet sind.

1 Einleitung

Ein wichtiger Vorteil digitaler photogrammetrischer Luftbildkamarasysteme gegenüber gescanntem Filmmaterial ist die Vergrößerung des Dynamikbereichs und das verbesserte Signal-Rauschverhältnisses der so erfassten Bilddaten. Dadurch wird eine erheblich gesteigerte Genauigkeit und Zuverlässigkeit der automatischen Bildzuordnung möglich. Diese Verfahren liefern die grundlegenden Beobachtungen für die Blockausgleichung und die bildbasierte Generierung von Höhenmodellen. Damit ist ein erheblicher Qualitätssprung bei diesen Auswerteprozessen aufgrund dieser Entwicklungen zu erwarten. Eine zusätzliche Stützung der photogrammetrischen Auswertung während der automatisierten Aerotriangulation, Höhenmodellgenerierung oder Objektextraktion ist darüber hinaus durch die Nutzung stark überlappender und damit hochredunder Bilddaten zu erwarten. Diese werden ebenfalls mit digitalen photogrammetrischen Luftbildkamarasystemen mit vergleichsweise geringem Mehraufwand erfasst. Die zunehmende Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger Bilddaten von digitalen photogrammetrischen Luftbildkamarasystemen hat mittlerweile auch zu einer Wiederbelebung der Entwicklung von Bildzuordnungsalgorithmen geführt. Beispiele hierfür sind die Softwaresysteme Next Generation Automatic Terrain Extraction (NGATE) von BAE Systems [DEVENECIA, ET. AL, 2007] oder MATCH-T DSM der INPHO GmbH [LEMAIRE, 2008] und SATellite image Precision Processing (SAT-PP) der ETH Zürich [ZHANG AND GRUEN, 2004]. Ein wichtiges Ziel dieser Entwicklungen ist unter anderem die potentielle Nutzung von Mehrfachüberdeckungen für die dichte Erzeugung von 3D Daten, um so das Genauigkeitspotential der Bildauswertung für die automatische DGM-Generierung zu steigern.

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

² Kirsten Wolf Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich; E-mail: wolff@geod.baug.ethz.ch

Der vorliegende Beitrag soll den Stand und das Potential der aktuellen Entwicklungen im Hard- und Softwarebereich für die automatische, bildbasierte Erzeugung von Höhendaten dokumentieren. Die zugrundeliegenden Untersuchungen wurden dabei innerhalb der Arbeitsgruppe *Höhenmodelle* des DGPF-Projekts *Evaluierung digitaler Kamerasysteme* durchgeführt. Generell sollen innerhalb dieses Projekts die Auswertungen durch die Beteiligung verschiedener Anwender, Systemhersteller und Forschungseinrichtungen auf eine möglichst breite und unabhängige Basis gestellt werden. Derzeit sind diese Arbeiten noch nicht abgeschlossen, eine umfassende Diskussion und Bewertung von system- oder auswertespezifischen Merkmalen ist demnach im vorliegenden Beitrag nicht möglich. Die vorgestellten Untersuchungen und ersten Ergebnisse der Autoren zeigen jedoch schon zum jetzigen Zeitpunkt das große Potential aktueller Systeme und die wieder stark wachsende Bedeutung der bildbasierten Erfassung von Höhendaten.

2 Verfügbare Daten

Die Parameter der untersuchten Kamerasysteme und die Konfigurationen der durchgeführten Bildflüge sind in [CRAMER ET AL., 2009] ausführlich dokumentiert. Für die bildbasierten Erfassung von Höhendaten war die Verfügbarkeit unterschiedlicher Bodenauflösungen (ground sampling distance [GSD]) und Überdeckungen von Interesse, da so beispielsweise der Nutzen großer Überdeckungen für die automatische Höhenmodellgenerierung untersucht werden kann. Somit wurden sowohl Bildblöcke mit nominell 20 cm GSD und 60% Längs- und Querüberdeckung als auch Flüge mit GSD 8 cm und 80% Längs- und 60% Querüberdeckung erfasst. Um das dabei entstehende Datenvolumen zu begrenzen und somit die Handhabung der Daten zu erleichtern, wurden die Befliegungen mit nomineller GSD von 8cm und großer Überdeckung auf das zentrale Gebiet des Testfelds beschränkt und die Untersuchungen der Arbeitsgruppe *Höhenmodelle* auf diesen Bereich begrenzt. In diesem zentralen Bereich wurden während der Messkampagne für das DGPF-Projekt im Sommer 2008 auch LiDAR-Daten erfasst. Die Befliegung erfolgte mit einem ALS50 System in insgesamt 10 Fluglinien bei 45°FOV und einer Punktdichte von 5 Punkten/m². Neben der so gemessenen 3D Punktwolke wurde den Mitgliedern der Arbeitsgruppe ein daraus abgeleitetes Digitales Oberflächenmodell mit 25cm Rasterweite zur Verfügung gestellt, um bei Bedarf einen vereinfachten Zugriff auf LiDAR-Höhenwerte zu ermöglichen.

Das Testgebiet mit dem verfügbaren Referenz-DOM sowie markierten Untersuchungsbereichen ist in Abb. 1 dargestellt. Diese Unterteilung in Bereiche wie Steinbruch, Sportplatz, Feld, oder bebautes Gebiet wurde definiert, um die Qualität der bildbasiert erzeugten Höhenmodelle gegebenenfalls getrennt für unterschiedliche Bildtextur und Gelände- bzw. Oberflächentopographien untersuchen zu können. Generell ist eine Hauptschwierigkeit bei Untersuchungen zur bildbasierten Erzeugung von Höhendaten, dass deren Qualität durch unterschiedliche teilweise nur schwer trennbare Faktoren beeinflusst wird. Solche Faktoren sind die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Bildzuordnung, die sowohl vom Zuordnungsalgorithmus als auch vom Bildinhalt abhängt, die eingesetzten Interpolations- und Filteralgorithmen sowie die Qualität der rekonstruierten Bildgeometrie.

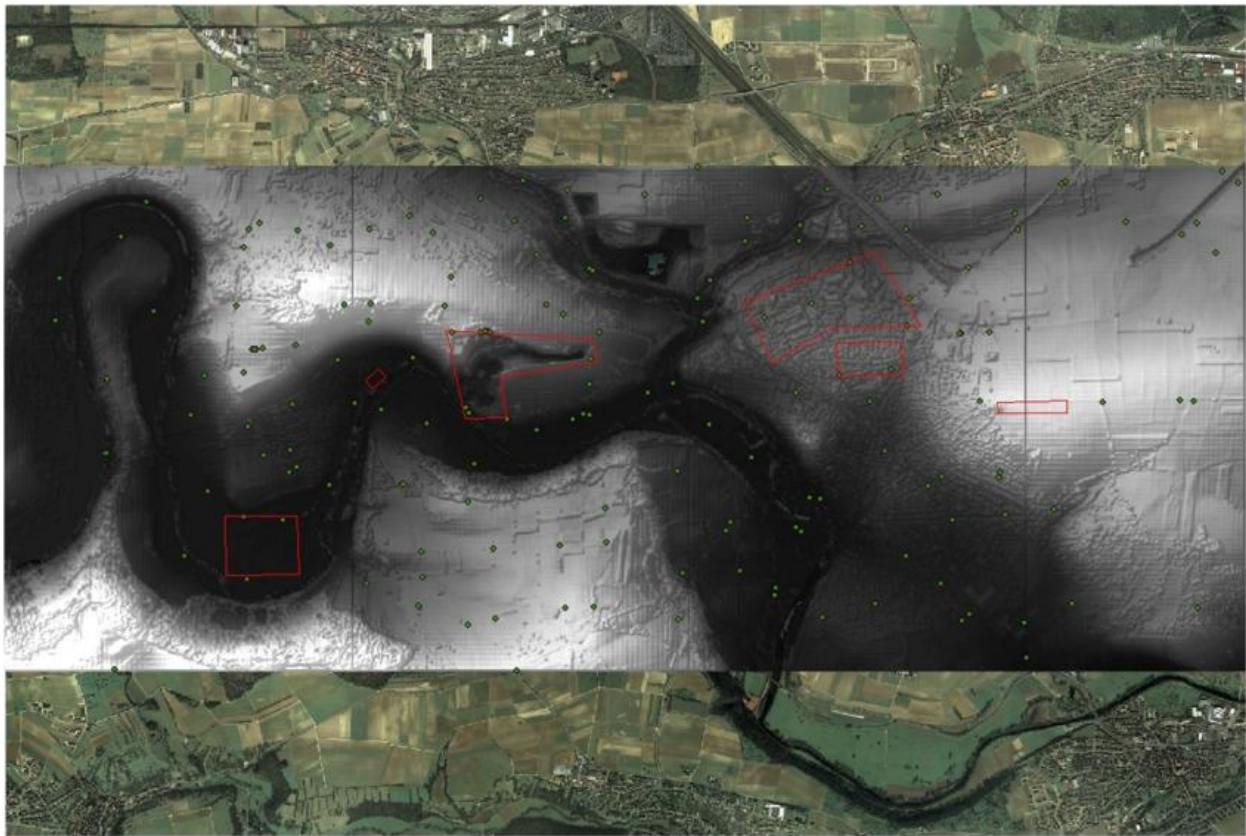


Abb. 1: Testgebiet mit verfügbarem Referenz-DOM und markierten Untersuchungsbereichen

Die geometrische Genauigkeit der erfassten Bilddaten und die optimale Handhabung von Blockausgleichungen wird im Rahmen des DGPf-Projekts *Evaluierung digitaler Kamerasysteme* gesondert untersucht, so dass für die Evaluierung der Höhenmodellgenerierung auf eine „optimale“ Orientierung je Bildblock zurückgegriffen werden kann. Die gemeinsame Nutzung einer solchen Referenz-Orientierung durch alle beteiligten Gruppen erleichtert darüber hinaus auch die Vergleichbarkeit der aus den Bilddaten abgeleiteten Höhenmodelle. Probleme können sich jedoch aufgrund fehlender standardisierter Schnittstellen ergeben, die für eine Einbindung von „optimalen“ Blockausgleichungen in die DHM-Generierung notwendig wären. Die Übergabe von Korrekturgittern oder zusätzlichen Parametern der Selbstkalibrierung ist somit in der Praxis häufig nicht problemlos möglich. Aus diesem Grund wurde zur Bestimmung der Referenz-Orientierung zunächst eine Aerotriangulation mit Zusatzparametern bestimmt, um darauf aufbauend in einem zweiten Schritt eine Aerotriangulation ohne Zusatzparameter zu berechnen. In diesem zweiten Schritt werden als Beobachtungen modifizierte Bildkoordinaten verwendet, die um den Einfluss der zunächst geschätzten Zusatzparameter korrigiert wurden. Die sich so ergebenden Orientierungsparameter beinhalten damit implizit eine Selbstkalibrierung, ohne dass eine explizite Übergabe der geschätzten Parameter notwendig wäre. Details des Verfahrens sowie die dabei erreichten Genauigkeiten sind in [CRAMER ET AL., 2009] dokumentiert.

3 Erste Untersuchungen

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Artikels standen von den untersuchten Kamerasystemen DMC, DigiCAM quattro, Ultracam-X, ADS 40 2nd, JAS-150, DLR 3K-Kamera, AIC und RMK-Top15 lediglich Referenzorientierungen für die beiden erstgenannten Systeme zur Verfügung. Aufgrund einer potentiellen Beeinträchtigung der Bilder der DigiCAM quattro durch die Defokussierung eines Kamerakopfes wurden für die ersten Genauigkeitsanalysen vor allem die DMC-Datensätze genutzt. Da diese Analysen noch nicht abgeschlossen sind, müssen diese derzeit jedoch noch als vorläufig betrachtet werden, darüber hinaus werden an dieser Stelle auch keine Genauigkeitsanalysen durchgeführt.

3.1 Höhenvergleich an signalisierten Punkten

Für eine erste qualitative Einschätzung der bildbasiert erfassten Höhendaten wurden zunächst die hochgenauen Koordinaten der im Testgebiet verfügbaren signalisierten Passpunkte genutzt. Abb. 2 zeigt beispielhaft einen DOM-Ausschnitt mit den darin verfügbaren Passpunkten, die in der Regel auf asphaltierten Flächen signalisiert wurden. Das in Abb. 2 dargestellte DOM wurde aus den DMC-Daten mit 8cm GSD durch das Programmsystem MATCH-T DSM abgeleitet.

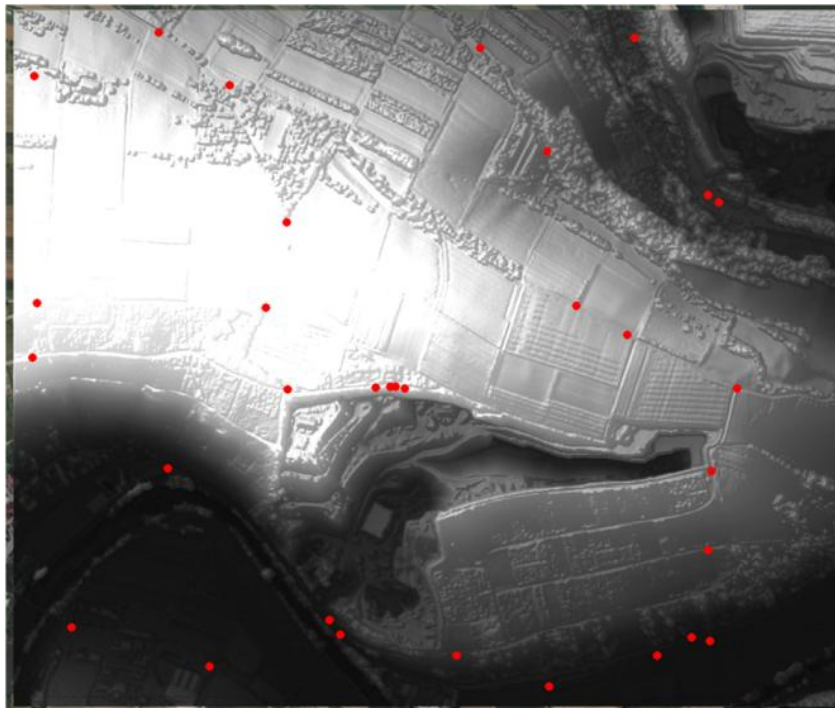


Abb. 2: Berechneter DOM-Ausschnitt mit verfügbaren Passpunkten

An den im Ausschnitt verfügbaren 32 Punkten ergaben sich Differenzen zwischen den GPS-Referenzmessungen und dem DOM mit einer Standardabweichung von 7.9cm, wobei der Maximalfehler bei 39cm lag. Wird dieser Punkt aus der Berechnung der Standardabweichung eliminiert reduziert diese sich auf einen Wert von 3.5cm. Im Vergleich dazu ergeben die Differenzen zwischen den GPS-Referenzmessungen und dem aus der LiDAR-Punktwolke interpolierten DOM eine Standardabweichung von 2.75cm.

3.2 Erzeugung und Nutzung von 3D Punktwolken

Moderne photogrammetrische Auswertesysteme erzeugen neben den traditionellen 2.5D Rasterdarstellung zur Repräsentation der erfassten (Gelände-)Oberflächen auch 3D Punktwolken als optionales Ausgabeprodukt. Solche 3D Repräsentationen sind unter anderem dann von Vorteil, wenn in weiteren Auswerteschritten eine 3D Objektrekonstruktion angestrebt wird. Im Rahmen der hier vorgestellten Genauigkeitsanalysen erlauben sie es zudem, diese Untersuchungen unbeeinflusst von etwaigen Interpolationsverfahren durchzuführen. Eine solche Punktwolke, die ebenfalls mit dem Programm MATCH-T DSM aus der DMC-Befliegung mit 8cm GSD abgeleitet wurde, ist in Abb. 3. (links) dargestellt. Bei dem gewählten Ausschnitt handelt es sich um den in Abb. 3. (rechts) abgebildeten Steinbruch, der wie bereits diskutiert als eines der weiter zu untersuchenden Testgebiete festgelegt wurde.

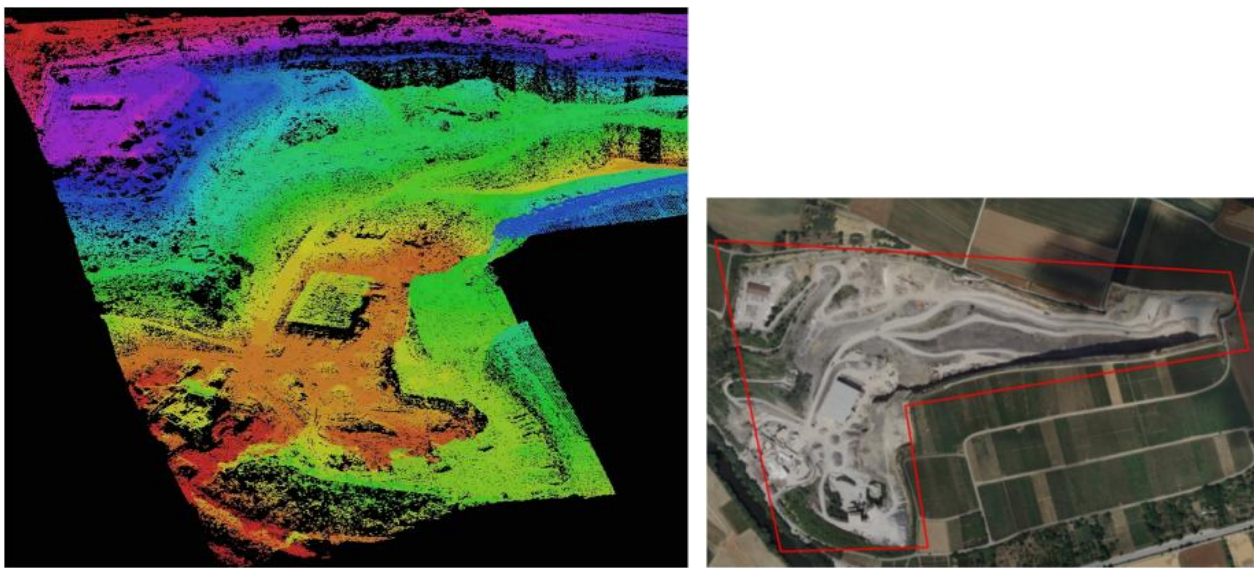


Abb. 3: Durch Bildzuordnung generierte 3D Punktwolke mit zugehörigem Bildausschnitt.

Bei diesem Beispiel handelt es sich aufgrund der Steilheit des Geländes und der teilweise geringen Oberflächentexturen sowohl bezüglich der Topographie als auch der Radiometrie um einen relativ schwierigen Bereich. Die in Abb. 3 dargestellte 3D Punktwolke gibt dennoch die Geometrie der abgebildeten Oberflächen in einer Qualität und Detailliertheit wieder, wie dies lange Zeit nur mittels LiDAR-Datenerfassung möglich war.

3.3 Genauigkeitsvergleich für ebenes Gelände

Für weitere Genauigkeitsabschätzungen wurden 3D Punktwolken für unterschiedliche Bilddaten im Bereich eines (ebenen) Sportplatzes berechnet. Abb. 5 zeigt die Resultate für die Aufnahmen der DMC mit 8cm GSD (Abb. 4 a) beziehungsweise 20cm GSD (Abb. 4 b) sowie der DigiCAM quattro mit 20cm GSD (Abb. 4 c) und der RMK mit 8 cm GSD (Abb. 4 d). Zum Vergleich ist die LiDAR-Punktwolke in Abb. 6 ebenfalls dargestellt. Die höhenabhängige, farbliche Darstellung der Punkte entspricht jeweils der in diesem Bereich abgebildeten Legende. Das zur Berechnung dieser Punkte verwendete Programmsystem MATCH-T DSM basiert auf einer dichten Zuordnung und anschließende Auswahl von unregelmäßig verteilten Interesspunkten [LEMAIRE, 2008].

Bei dem untersuchten Sportplatz handelt es sich um einen Bereich mit relativ gleichbleibender Bildtextur, so dass eine relativ homogene Punktverteilung erzeugt wird. Dies gilt nicht für den unteren Bereich der DMC-Bilder, da dort die Bildzuordnung durch den Schlagschatten eines Baumes erschwert wird, der sich aufgrund der Änderung des Sonnenstands relativ zur Oberfläche bewegt. Als Hintergrund für Abb. 5d) wurde ein existierendes Orthophoto verwendet, das somit nicht die tatsächliche Aufnahmesituation wiedergibt. Aus diesem Grund ist in Abb. 5 ein Bildausschnitt des tatsächlich verwendeten Flug DMC 8cm GSD dargestellt.

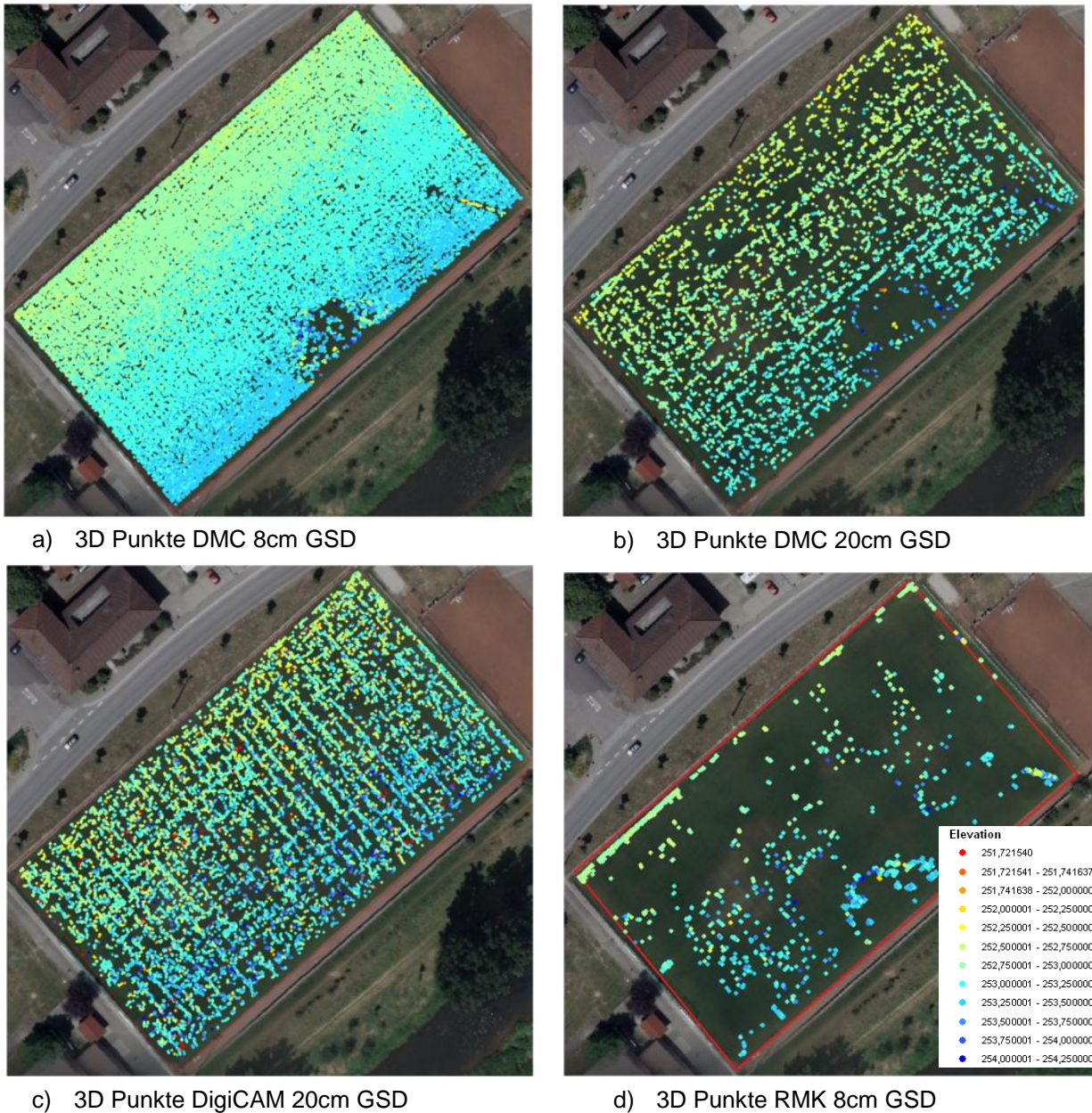


Abb. 4: Durch Bildzuordnung erzeugte 3D Punktwolken für den Bereich Sportplatz.



Abb. 5: Verwendetes DMC-Bild im Bereich Sportplatz



Abb. 6: Referenzpunktvolke LiDAR

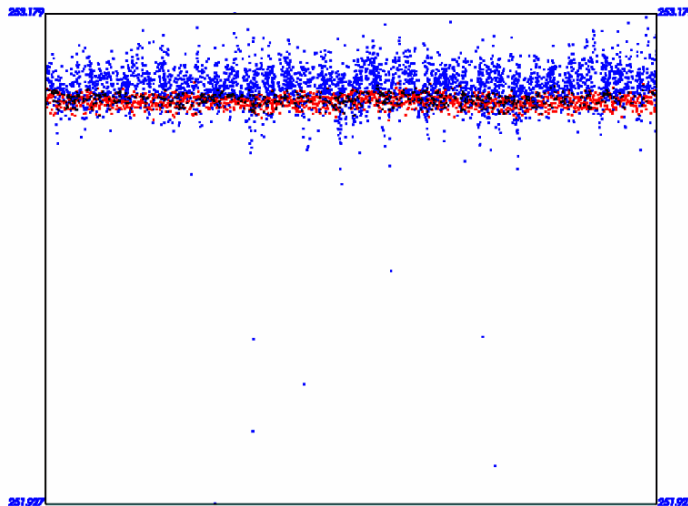


Abb. 7: Profil für 3D Punkt aus LiDAR (rot) und DMC 8cm GSD (blau).

Im Vergleich zu den in Abb. 6 dargestellten LiDAR-Daten zeigen die bildbasiert erzeugten Punktwolken ein größeres Rauschen bei geringerer Punktdichte. Dennoch wird deutlich, dass sich insbesondere die Ergebnisse der Bildzuordnung für den 8cm DMC-Block in Qualitätsbereichen bewegt, die lange Zeit ausschließlich LiDAR-basierten Meßverfahren vorbehalten waren. Dieser Fortschritt zeigt sich insbesondere im Vergleich zwischen den Zuordnungsergebnissen in Abb. 5c), die Aufnahmen digitaler photogrammetrischer Systeme nutzen und dem nahezu unbrauchbaren Ergebnis in Abb. 5 das 3D

Punkte abgeleitet aus den RMK-Aufnahmen mit 8cm darstellt.

Den Vergleich eines Profils aus LiDAR (rot) und DMC 8cm GSD Punktdaten (blau) zeigt Abb. 7. Die Daten basieren auf den in Abb. 4a) bzw. Abb. 6 dargestellten 3D Punktwolken. Das größere Rauschen und das Auftreten grober Fehler bei der Bildzuordnung im Vergleich zur LiDAR Messung ist deutlich sichtbar. Gleichzeitig lässt die Punktdarstellung aber auch erkennen, dass durch geeignete Filter und Interpolationsalgorithmen qualitativ gute Oberflächenmodelle daraus abgeleitet werden können.

3.4 Visuelle Evaluierung in einem Stadtgebiet

Um eine erste Analyse des Potentials der digitalen Sensoren für die Oberflächengenerierung in bebauten Gebieten durchführen zu können, wurde ein Bereich mit unterschiedlicher Bebauungsart und -dichte gewählt. Die grundsätzlichen Möglichkeiten der DMC Bilddaten mit einer GSD von 8cm und 20cm und einer 6-fach Überlappung sollen hier zunächst nur anhand eines visuellen Vergleichs aufgezeigt werden. Durch eine schattierte Repräsentation eines interpolierten DOMs wird dabei die Qualität der Modellierung feiner Strukturen deutlich sichtbar. Für die Rasterweite der DOMs wurde in etwa die dreifache GSD gewählt, also in diesem Fall 25cm und 60cm. Diese sehr hohe Rasterweite entspricht nicht unbedingt vielen realen Anwendungsfällen, zeigt jedoch die grundsätzlichen Möglichkeiten der Sensoren. Eine spätere Ausweitung auf andere Rasterweiten ist geplant. Für die Generierung der Oberflächenmodelle wurde das Softwarepaket SAT-PP eingesetzt. Dafür wurden die Bilder zunächst von 12bit auf 8bit reduziert. Danach wurden ein adaptiver Glättungsfilter und der texturverstärkende Wallis Filter auf die Bilder angewendet, um sie für die Merkmalsextraktion zu optimieren. Die generierten DOMs wurden nicht manuell nachbearbeitet.

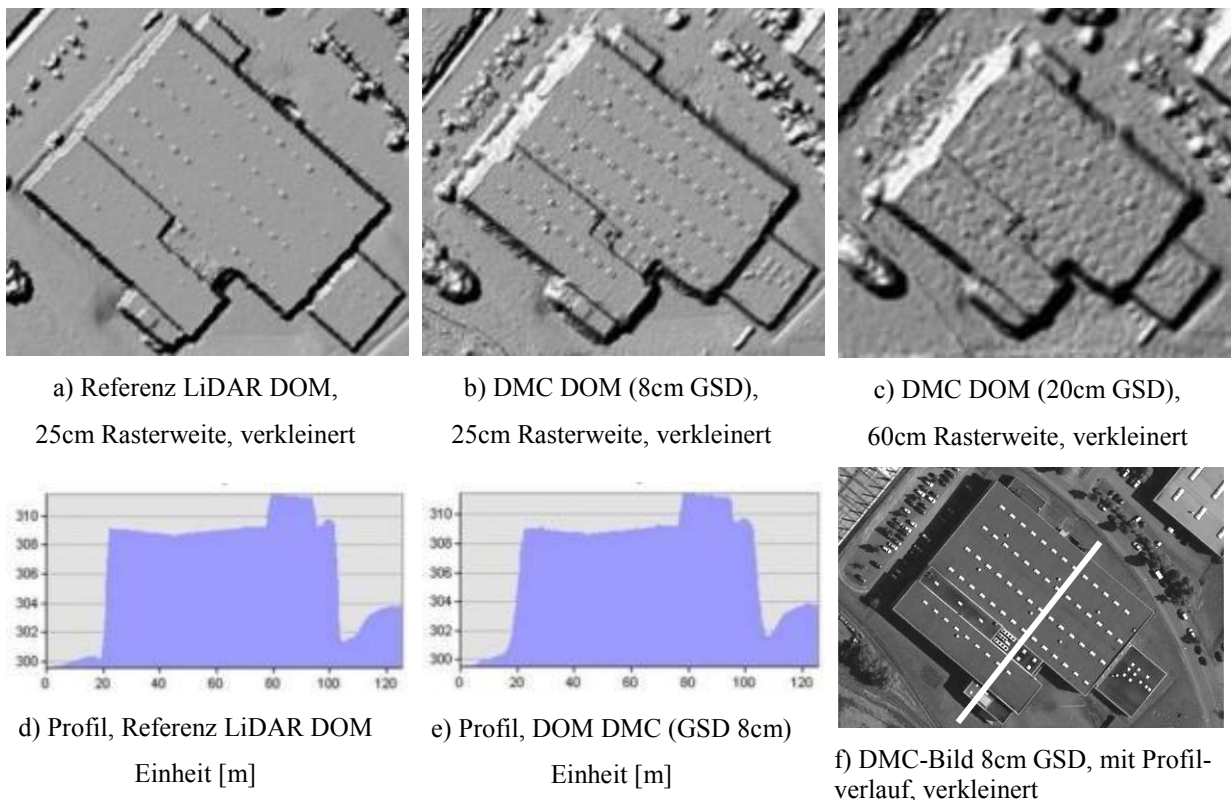


Abb. 8: Visueller Vergleich der Referenzdaten, des DMC (8cm GSD) DOMs, des DMC (20cm GSD) DOMs eines großen Gebäudes mit einer Längenausdehnung in NW – SO Richtung von ca. 115m.

Abb. 8 zeigt für den visuellen Vergleich die DOMs für ein 115m langes Gebäude des Referenzdatensatzes und des DMC DOM 8cm GSD zusammen mit jeweils einem Profil, sowie das DMC DOM 20cm GSD. Die schattierten Darstellungen der DMC DOMs zeigen generell eine gute Qualität und eine hohe Auflösung der Modelle. Die Oberflächen der Referenzdaten zeigen im Allgemeinen eine glattere Struktur. Dem gegenüber enthalten die DMC DOMs 8cm GSD in einigen Bereichen mehr Details, wie zum Beispiel kleine Strukturen auf dem Dach des Gebäudes.

Dies ist dadurch erklärbar, dass das 25cm Referenz DOM aus einer Laserpunktwolke mit 5 Punkten/m² abgeleitet worden ist und so diese kleinen Strukturen nicht erfasst werden konnten. Deutliche Unterschiede in den Modellen sind durch parkende Autos verursacht worden. Dies gilt es bei einer späteren quantitativen Analyse zu berücksichtigen. Ein Vergleich der Profile des Referenz DOMS, Abb. 8 d) und des DMC DOMs 8cm GSD, Abb. 8 e) unterstreichen das Potential der DMC Daten für diese Anwendung. Das Profil zeigt deutlich die Struktur des Gebäudes mit relativ scharfen Kanten und unterstreicht auch hier, dass wir uns mit den modernen digitalen Kameras dem Qualitätsbereich von LiDAR Daten annähern. 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.

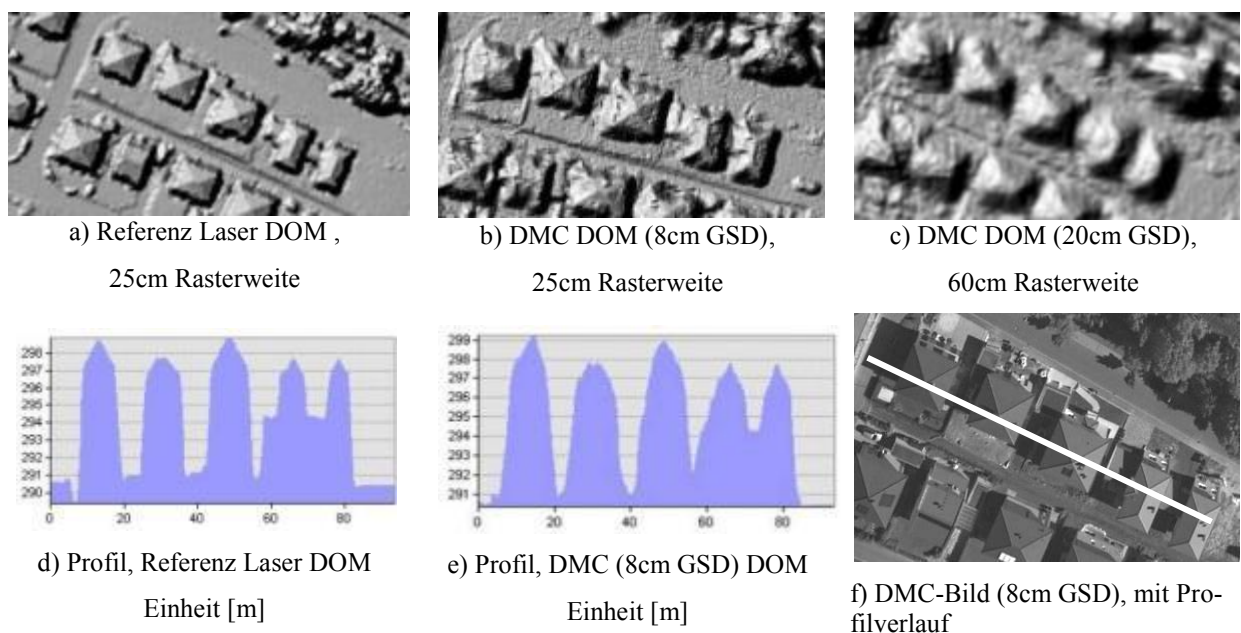
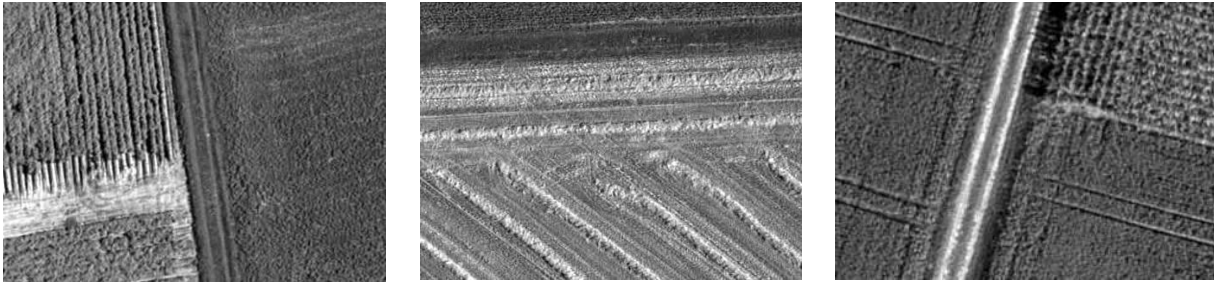


Abb. 9: Visueller Vergleich der Referenzdaten, des DMC (8cm GSD) DOMs, des DMC (20cm GSD) DOMs einer Häuserreihe mit einer Hausbreite zwischen 7m und 12m.

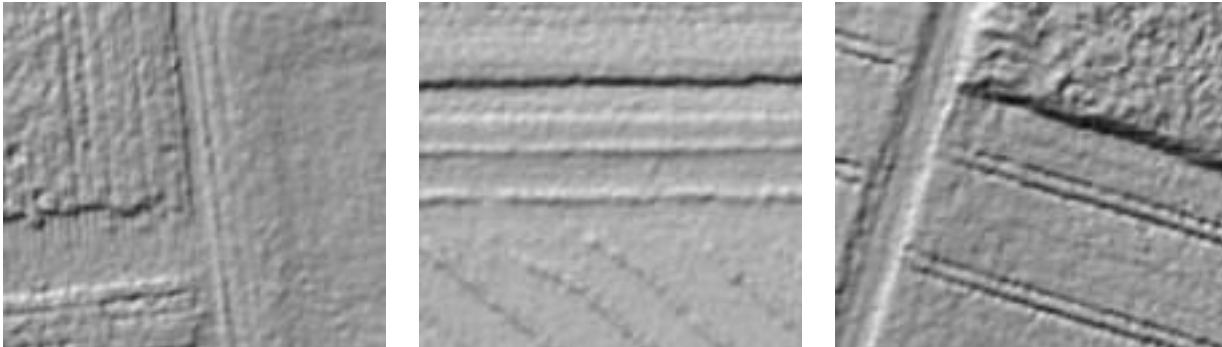
Abb. 9 zeigt die entsprechenden Vergleichsdaten für ein Wohngebiet mit kleineren Gebäuden mit einer Breite von 7m bis 12m und dichterem Bebauung. Auch hier sind die markanten Dachstrukturen in dem DMC DOM (8cm GSD) zu erkennen, die im DMC DOM (20cm GSD) weniger markant modelliert worden sind.

3.5 Beispiel Ackerbau

Abb. 10 zeigt DMC Originalbilder und schattierte Darstellungen der generierten Oberflächenmodelle für verschiedene Feldnutzungen und -bestellungen. Diese Gebiete eignen sich aufgrund der Zeitunterschiede zwischen der Laserbefliegung und der Akquisition der optischen Bilddaten nicht für eine quantitative Genauigkeitsuntersuchung. Jedoch wird auch hier die hohe Qualität der Modellierung feiner Strukturen unterstrichen.



DMC Originalbilder der drei Ackergebiete (GSD 8cm, verkleinert).



DMC (GSD 8cm) DOM , Rasterweite 25 cm, original Masstab.

Abb. 10: Beispiele für rekonstruierte Ackergebiete.

4 Diskussion

Nach Meinung der Autoren geben die vorgestellten ersten Ergebnisse der Arbeitsgruppe *Höhenmodelle* des DGPF-Projekts *Evaluierung digitaler Kamerasysteme* einen klaren Hinweis auf den derzeit stattfindenden großen Entwicklungssprung bei der automatischen bildbasierten Generierung von Höhenmodellen. Sie bestätigen damit die Bedeutung und Relevanz des DGPF-Projekts für den Bereich der digitalen Photogrammetrie. Die bisherige große Resonanz und breite Beteiligung an diesem empirischen Praxistest lässt sehr interessante Ergebnisse in der weiteren Bearbeitung erwarten.

5 Literaturverzeichnis

- CRAMER, M., KRAUB, H., JACOBSEN, K., VON SCHÖNERKARK, M., HAALA, N. & SPRECKELS, V., 2008: Das DGPF-Projekt zur Evaluierung digitaler photogrammetrischer Kamerasysteme, dieser Tagungsband.
- 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.
- LEMAIRE, C., 2008: Aspects of the DSM Production with High Resolution Images IAPRS, Volume XXXVII, Part B4, S. 1143-1146.
- ZHANG, L. GRUEN, A., 2004: Automatic DSM Generation from Linear Array Imagery Data. *IAPRS*, **35** (B3), S. 128-133.