

## Addendum

# Digitale photogrammetrische Luftbildkamerasysteme - Evaluation der automatischen Generierung von Höhenmodellen

NORBERT HAALA<sup>1</sup> & KIRSTEN WOLFF<sup>2</sup>

*Ergänzung zum Beitrag im Konferenzband*

*Ergänzend zu dem im Tagungsband enthaltenen Bericht sollen in diesem Anhang Untersuchungen zusammengefasst werden, die noch nach der Abgabe der Druckvorlage durchgeführt wurden. Dabei handelt es sich insbesondere um die Fortführung bereits dokumentierter Analysen im Bereich eines (ebenen) Sportplatzes, für die aus den unterschiedlichen Bilddaten jeweils 3D Punktwolken berechnet und untersucht wurden.*

## Genauigkeitsuntersuchungen in ebenem Gelände

In Erweiterung der in Abschnitt 2.3. *Genauigkeitsvergleich für ebenes Gelände* dokumentierten Untersuchungen wurden am ifp mit dem Programm MATCH-T im Bereich eines (ebenen) Sportplatzes jeweils 3D Punktwolken mittels Mehrfach-Stereobildzuordnung berechnet. Diese Punktwolken wurden für die flächenhaft aufzeichnenden Digitalkameras DMC, DigiCAM und Ultracam-X sowie für die RMK-Top für die Aufnahmen mit GSD 20cm und GSD 8cm generiert. Zur Bewertung der erreichten Genauigkeit wurde anschließend aus der jeweils verfügbaren 3D Punktwolke eine ausgleichende Ebene berechnet, um aus dem senkrechten Abstand die jeweilige Standardabweichung der Punkte zu bestimmen. Die als Referenz verwendete Punktwolke aus der LiDAR-Messung ist für den untersuchten Sportplatz bereits in Abbildung 6 des im Tagungsband enthaltenen Berichts dargestellt.

In diesem Fall liegt die gemessene Punktdichte bei  $8.3\text{Pkte/m}^2$ , die Standardabweichung  $\sigma_0$  beträgt 1.92cm. Analog dazu können im Prinzip auch die Punktwolken aus der Bildzuordnung bewertet werden. Eine vergleichende Bewertung wird dabei jedoch durch Schlagschatten von Bäumen, Flutlichtmasten oder ähnlichem erschwert, wie sie in Abbildung 5 für Daten des DMC-Fluges zu sehen sind. Die zeitabhängige Bewegung dieser Schatten relativ zur Oberfläche aufgrund der Änderung des Sonnenstands kann zu Fehlern in der Bildzuordnung führen und verursacht damit Ausreißer in der jeweils erzeugten 3D Punktwolke. Da sich Größe und Lage der Schatten in den verschiedenen Flügen aufgrund der unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte unterscheiden ist so kein objektiver Vergleich möglich. Zur Minimierung dieses Effekts wurden nach der ersten Berechnung der ausgleichenden Ebene jeweils alle 3D Punkte eliminiert, die ei-

---

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

nen Abstand größer  $3\sigma_0$  aufweisen. Diese Situation ist in Abbildung 11 für den 8cm GSD Datensatz der DMC-Befliegung dargestellt. Für alle Punkte ergibt sich ein  $\sigma_0$  von 9.74 cm. 1.17% dieser Punkte weisen einen Abstand größer als  $\pm 29.22\text{cm}$  ( $3\sigma_0$ ) zur ausgleichenden Ebene auf. Diese Punkte sind in Abb. 11 hellblau markiert und werden für die weiteren Berechnungen nicht mehr verwendet. Der Vergleich zu verbleibenden roten Punkten zeigt, dass so vor allem Schattenbereichen eliminiert werden. Die Standardabweichung der 3D Punkte nach diesem Filterprozess liegt bei 5.16cm auf. Während in Abbildung 11 die 3D Punkte dem Orthophoto überlagert wurden, sind sie in Abbildung 12 nochmals in einem lokalen, durch die ausgleichende Ebene definierten System dargestellt. Dabei wird die y-Achse des Diagramms durch den senkrechten Punktabstand und die x-Achse durch den jeweiligen Abstand zum Schwerpunkt in Richtung der Hauptachse definiert.



Abb. 11: 3D Punkte aus DMC-Bild 8cm GSD

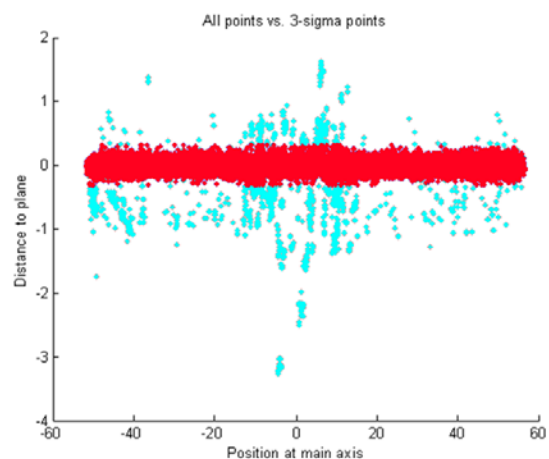


Abb. 12: Punkte im lokalen Koordinatensystem

Die Resultate der durchgeführten Genauigkeitsuntersuchungen für die unterschiedlichen 3D Punktwolken sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Neben den Ergebnissen für die LiDAR-Punktwolke, sind die drei untersuchten Digitalkameras DMC, Ultracam-X DigiCAM quattro sowie die RMK-Top jeweils für 8cm GSD und 20cm GSD aufgeführt. Die erste Spalte repräsentiert die durchschnittliche Anzahl von Punkten pro  $\text{m}^2$  im Bereich des untersuchten Sportplatzes. Die 3. Spalte enthält den prozentualen Anteil der Punkte, die von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen wurden, da ihr Abstand zur ausgleichenden Ebene größer als  $3\sigma_0$  beträgt. Spalte 4 enthält schließlich die Standardabweichung der Ebenausgleichung für die verbleibenden Punkte. Die in Spalte 3 angegebene die mittlere Höhe wurde ebenfalls aus den so gefilterten Punkten berechnet.

	Dichte Pkte/m <sup>2</sup>	Z <sub>Mittl.</sub> [m]	$\sigma_0$ [cm] vor Filter	Gefiltert [ %]	$\sigma$ [cm] nach Filter
LiDAR	8.25	253.036	1.92	0.54	1.83
DMC - 8cm	19.67	253.065	9.74	1.30	5.16
DMC - 20cm	2.71	252.896	25.36	1.10	17.23
Ultracam-X - 8cm	19.04	253.067	8.04	0.49	6.84
Ultracam-X - 20cm	1.62	252.980	34.21	0.43	22.57
DigiCAM - 8cm	20.83	253.023	11.28	0.68	10.18
DigiCAM - 20cm	2.64	253.030	48.24	2.45	34.13
RMK - 8cm	0.77	253.002	27.27	3.18	17.23
RMK - 20cm	0.31	253.187	66.21	0.73	60.56

Tabelle 1: Genauigkeitsuntersuchungen für die abgeleiteten 3D Punktwolken.

Wie neben Tabelle 1 auch die in Abbildung 4 dargestellten Punkverteilungen zeigen, ermöglichen Aufnahmen digitaler photogrammetrischer Systeme im Gegensatz zu RMK-Aufnahmen eine qualitativ gute Zuordnung. In diesem Zusammenhang ist insbesondere der Vergleich zwischen DMC- und RMK-Aufnahmen mit einer Punktdichte von 19.67 Pkte/m<sup>2</sup> gegenüber 0.77 Pkte/m<sup>2</sup> von Interesse. Diese Bilder wurden im Rahmen eines Doppelkamerafluges und damit unter identischen Bedingungen erfasst. Insbesondere aus diesen 8cm GSD Daten werden durch das eingesetzte Multi-Image-Matching für alle digitalen Aufnahmesysteme hohe Punktdichten erreicht. Die erreichten Genauigkeiten liegen zwar unter dem sehr geringen Rauschen der LiDAR-Messung, sind aber für viele Anwendungen bereits ausreichend. Neben der sehr vielversprechenden Qualität der in Tabelle 1 dokumentierten Ergebnisse bleibt anzumerken, dass ein systemübergreifender Vergleich zwischen den digitalen Kamerasystemen insbesondere aufgrund der unterschiedlichen Aufnahmebedingungen während der jeweiligen Flugtage jeweils nur sehr bedingt möglich ist.