
Kameras zur 3D-Modellierung mit UAS

Ansgar GREIWE und Ralf GEHRKE

FH Frankfurt am Main · ansgar.greibe@fb1.fh-frankfurt.de

Zusammenfassung

Unbemannt, autonom navigierende Flugsysteme (UAS) werden seit geraumer Zeit als Sensorplattform zur Aerophotogrammetrie verwendet. Im Hinblick auf die flächenmäßige Projektgröße kommen die Fluggeräte aufgrund ihrer Systemeigenschaften (Flugzeit, Nutzlast) im Vergleich zu konventionellen Aufnahmeverfahren (bemannte Luftfahrzeuge) schnell an ihre Grenzen. Jedoch kann ein Einsatz der Technik in einem abgegrenzten Bereich (Bauwerkserfassung, kleinräumiges Monitoring von Geländeoberflächen) durchaus eine Alternative bilden.

Grundvoraussetzung für den Einsatz der UAS ist eine auf das jeweilige Flugverhalten angepasste Sensorauswahl. Hierbei spielen Systemparameter wie Elektronik (Auslesezeit), Sensor (Bildrauschen) und auch die verwendete Optik (Bildschärfe) eine Rolle. Meist werden für den Einsatz am UAS kleinformatige Digitalkameras verwendet. Für diese „Consumer grade Cameras“ besteht aufgrund des großen Marktes ein ständiger Innovationsdruck für die Hersteller. Aufgrund der ständig wachsenden Sensorformate und alternativen Chip-typen (Foveon) bietet sich dem Nutzer mittlerweile eine große Auswahl.

Die Autoren haben in den letzten vier Jahren unterschiedliche Kamerasysteme zur Erfassung von Erdoberflächen oder Gebäuden per UAS eingesetzt. Aus den gegebenen Einsatzbedingungen (Wind, Sonnenstand, Aufnahmeabstand) wurde die Notwendigkeit des Einsatzes von leichtgewichtigen Kleinbildkameras abgeleitet.

Im Folgenden werden die Anforderungen, die aus einem UAS-Einsatz folgen, die relevanten Systemparameter wie Kontrastauflösungsvermögen und Abbildungsgüte sowie Dynamikumfang des Sensors beschrieben. Abschließend werden die Einflüsse auf die Güte einer 3D-Modellierung an Beispielen erläutert.

1 Einsatzbedingungen und Nutzlasten

Unmanned aerial Systems (UAS) werden als RC-gesteuerte Dreh- oder Starrflügler in zunehmenden Maße als Kameraplattform verwendet. Für kleinräumige Gebiete stellt diese Aufnahmemethode eine kostengünstige und flexibel einsetzbare Alternative zur bemannten Aerophotogrammetrie dar (EISENBEIß 2009, GRENZDÖRFFER et. al. 2008, GEHRKE & GREIWE 2011). Zudem können die UAS als Sensorträger die zu erfassenden Objekte aus einer anderen (unzugänglichen) Perspektive aufnehmen und so zum Beispiel terrestrisches Laser-scanning (TLS) durch photogrammetrische Aufnahmen ergänzen (GEHRKE & PEUKERT 2012).

In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass der begrenzende Faktor für einen UAS-Einsatz die jeweiligen Wetterbedingungen sind. Für die fotografische Aufnahme sind in erster Linie die Lichtverhältnisse entscheidend. Bei sonnigem Wetter kann die Verschlusszeit verringert werden und auf diese Weise Bewegungsunschärfe vermieden werden. Allerdings treten insbesondere bei sonnigen Tagen in der Regel zum späten Mittag gegen 13 Uhr aufgrund der am Vormittag erwärmten Erdoberfläche Thermik und damit verbunden böige Turbulenzen auf, die durchaus Geschwindigkeiten von 10 m/s erreichen können. Bei bedecktem Himmel treten diese Turbulenzen nicht auf, jedoch muss die Kamera dann immer noch in der Lage sein, bei ISO100 und einer 1/1000 s Belichtungszeit gute Bilder zu erzeugen.

Die hier betrachteten Mikro-UAS (bis 5 kg Gesamtgewicht) können als Nutzlast sowohl Spiegelreflexkameras (DSLR) als auch leichtgewichtige Kleinbildkameras mitführen. In Projekten eingesetzte Systeme sind in Tabelle 1 aufgeführt. Das im Vergleich zur DSLR mit 900 g Gesamtgewicht wesentlich geringere Gewicht der Kleinbildkameras (Ersparnis ca. 300 g – 400 g) führt neben einem besseren Flugverhalten vor allem zu einer wesentlich längeren Flugzeit. Das relativ hohe Gewicht der EOS-M von 635 g wird durch ein Festbrennweiten-Objektiv (Voigtländer Color Skopar) hervorgerufen. Ob die Gewichtsersparnis der Kleinbildkameras im Hinblick auf die zu erwartende schlechtere Bildqualität die längere Flugzeit rechtfertigt, soll hier dargestellt werden.

Tabelle 1: Technische Daten der Sensoren

	Canon EOS-M Voigtländer Color Skopar	Pentax Optio A40	Sigma DP1 Merrill	Sigma DP1
Sensor [mm ²]	22,3 × 14,9	7,63 × 5,74	23,5 × 15,7	20,7 × 13,8
Mpix	18	12	15	4
Pixelgröße [µm]	4,3	1,9	5	7,8
Brennweite [mm]	28	7,9	19	16,6
Gewicht [g]	635	155	385	275
Flugdauer [min]	12	-	16	24

2 Abbildungsqualität

Oft wird eine hohe geometrische Auflösung (hohe Ortsfrequenz) zur Erkennung von Details in den erstellten Aufnahmen gefordert. Die Erkennbarkeit von Details hängt jedoch stärker von einer zweiten Komponente ab – dem Kontrastaufklärungsvermögen. Ein hohes Kontrastaufklärungsvermögen ermöglicht die Unterscheidung von hell und dunkel selbst bei feinen Strukturen (hoher Ortsfrequenz). In einem ersten Versuch wurden bei bedecktem Wetter und ungünstigen Lichtverhältnissen feine Strukturen eines Fernziels (Kirchturm) fotografiert. Hierbei wurde annähernd ein identischer Bildmaßstab eingehalten, um anschließend die Aufnahmen vergleichen zu können. Die Ergebnisse der beiden hoch auflösenden Kameras (EOS-M und Sigma DP1 Merrill) sind in der folgenden Abbildung gegenübergestellt. Die unterschiedliche Bildqualität, insbesondere bei feinen Strukturen, wird im Wesentlichen durch das höhere Kontrastaufklärungsvermögen der DP1 Merrill hervorgerufen.



Abb. 1: Aufnahme feiner Strukturen (links EOS-M, rechts DP1 Merrill)

Der Grund für diesen Qualitätsunterschied liegt in der Sensorbeschaffenheit begründet. Die hier dargestellte EOS-M verwendet ein Bayer-Pattern. Für jedes Detektorelement des Sensors wird jeweils eine der drei Grundfarben aufgezeichnet, die volle RGB-Farbinformation wird durch Interpolation mit Farbwerten der Nachbarelemente erreicht (siehe Abbildung 3 rechts).

Die DP1 Merrill besitzt einen Foveon-Sensor, welcher die wellenlängenabhängige Eindringtiefe der elektromagnetischen Welle in den CMOS Chip zur Trennung der drei Grundfarben nutzt (GILBLOM et al. 2003).

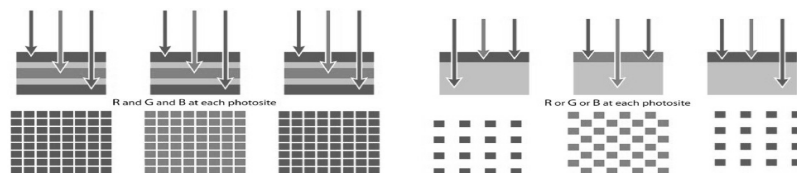


Abb. 2: Foveon (links) und Bayer/CFA – Color Filter Array (Quelle: VERHOEVEN 2010)

An einem sonnigen Tag können, wie eingangs erwähnt, schon gegen 11 Uhr unruhigere Windverhältnisse auftreten. Durch die Flugbewegungen des UAS, Vibrationen der Plattform und möglicherweise ungenügendem Roll-/Nickausgleich der Kamerahalterung sind dann die Belichtungszeiten zur Vermeidung der Bewegungsunschärfe von $1/250$ s oft auf $1/1000$ s zu setzen. Dies kann insbesondere im Frühjahr jedoch zu einer leicht unterbelichteten Aufnahme führen. Aus diesem Grund werden die Objektive bei diesen Aufnahmen entweder nicht oder nur gering abgeblendet. Als Folge dieser Aufnahmeeinstellung verringert sich zum einen der Schärfentiefebereich. Zum anderen führt die Aufnahme mit kleiner Blende zu einem radialen Schärfenabfall zum Bildrand hin (siehe Abb. 3). Dieser wurde für die aufgeführten Kleinbildkameras untersucht, das Kontrastaufklärungsvermögen kann hier innerhalb einer Aufnahme zum Rand hin um bis zu 50 % sinken (GREIWE & GEHRKE 2013). In der folgenden Abbildung ist der Schärfenabfall einer Canon EOS-M mit einem Pancake-Objektiv dargestellt, welcher letztlich zur Empfehlung des (schweren) Festbrennweitenobjektivs führte (Gewicht in Tabelle 1 ersichtlich).

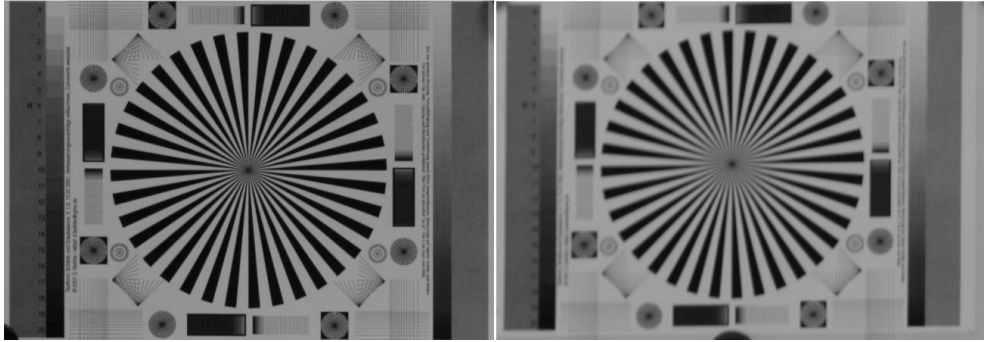


Abb. 3: Aufnahme bei offener Blende (2.8) in der Bildmitte (links) und Bildrand (rechts)

Bei sehr ungünstigen Belichtungsverhältnissen (Aufnahmen im Winter) kann eine Erhöhung der ISO-Empfindlichkeit des Sensors erforderlich sein, um trotz offener Blende eine kurze Belichtungszeit zu erreichen. Hierbei wird allerdings ein höheres Farbrauschen in Kauf genommen, welches sich insbesondere in dunklen Bereichen der Aufnahme bemerkbar macht. Hohe ISO-Werte führen ebenfalls zu einer Abnahme des Kontrastauflosungsvermögens um bis zu 50 %. In der folgenden Abbildung ist die Verringerung des Kontrastauflosungsvermögens von ISO100 (Labor) zu ISO400 (Außen) dargestellt.

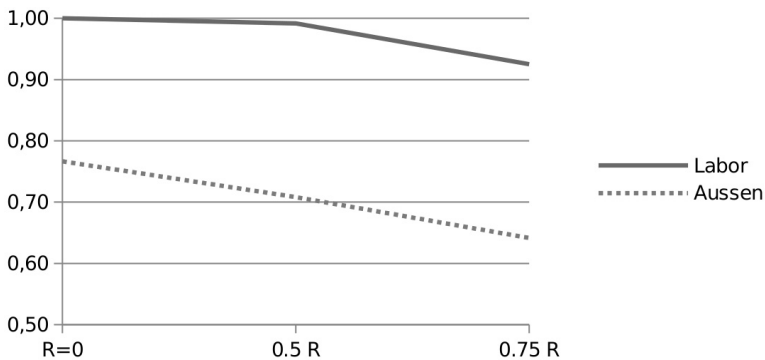


Abb. 4: Kontrastauflösung von der Bildmitte ($R = 0$) zum Rand ($0.75 R$), deutliche Abnahme bei ISO 400 (außen)

3 Dynamikumfang des Sensors

Die bereits eingangs erwähnten Umweltfaktoren für den Flug mit einem UAS erfordern insbesondere in Gebäudenähe optimale Verhältnisse (Wind, Licht). Im vorliegenden Fall sollte ein Kirchturm mit komplexer Geometrie modelliert werden. Die Flüge wurden an einem sonnigen Tag im Mai 2011 um 9:00 Uhr durchgeführt, da um diese Tageszeit wenig Turbulenzen durch Thermik zu erwarten sind. Zum Einsatz kam eine Sigma DP1 (Foveon-Chip, 4 Megapixel), welche im manuellen Modus (keine Programmautomatik, kein Auto-

fokus) betrieben wurde. Im vorliegenden Fall wurden vor dem Flug die Belichtung abgeschätzt und die Kamera wie folgt eingestellt: ISO 100, 1/1000 s Belichtungszeit und Blende 4.0.



Abb. 5: Aufnahmen mit Kameraeinstellungen (links), entwickelte RAW-Daten (rechts)

Die Daten werden im RAW-Format zur späteren Bearbeitung gespeichert. Wie in Abbildung 6 ersichtlich, konnte durch eine RAW-Entwicklung eine Beleuchtungskorrektur um eine Blendenstufe erfolgen. Aufgrund der relativ hohen ISO 100 konnte das Farbrauschen insbesondere in den dunklen Bildbereichen in Grenzen gehalten werden. Die 3D-Modellierung zeigt, dass die Bildqualität für ein erfolgreiches Matching insbesondere in den dunklen Bereichen zwischen den Türmen ausreicht.

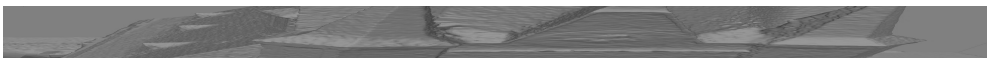


Abb. 6: Vermaschtes 3D-Modell als Endergebnis

4 Fazit

Die Praxis zeigt: Für eine gelungene 3D-Modellierung kommt es keineswegs allein auf die geometrische Auflösung der Aufnahmen an. Vielmehr sind hier das Kontrastaufklärungsvermögen, ISO-Rauschen und der Dynamikumfang des Sensors zu berücksichtigen. Es konnte gezeigt werden, dass Kleinbildkameras mit Foveon-Chip durchaus brauchbare Resultate bei einem Fluggewicht von max. 480 g liefern.

Die Bildqualität und damit verbundene Aufzeichnung im RAW-Format hat allerdings ihren Preis: Sensoren mit Bayer-Pattern lesen die Bilddaten deutlich schneller vom Bildsensor. Diese benötigen in der Regel weniger als zwei Sekunden, die Bildfolgezeiten von 5 s (Sigma DP1) und 15 s (Sigma DP1 Merrill) sind deutlich langsamer.

Nach Ansicht der Autoren sind Kleinbildkameras mit Foveon-Chip insbesondere vor dem Hintergrund der Rahmenbedingungen eines UAS-Einsatzes die Sensoren erster Wahl, solange Nutzlasten unter 500 g bei einer Gesamtmasse des UAS von unter 5 kg erreicht werden sollen.

Literatur

- EISENBEIß, H. (2009), UAV Photogrammetry. Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, Mitteilungen 105, 235.
- GEHRKE, R. & GREIWE, A. (2011), Sensoren zur kleinformatigen Aerophotogrammetrie mit UAV. Publikationen der DGPF, 20 (DGPF Jahrestagung 2011), 75-82.
- GEHRKE, R. & PEUKERT, M. (2012), Modellierung von Bauwerken durch integrierte Auswertung von Laserscan- und Photogrammetriedaten. In: LUHMANN, T. & MÜLLER, C. (Hrsg.), Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2012. Wichmann, Berlin/Offenbach, 82-88.
- GILBLOM, D. L., YOO, S., K. & VENTURA, P. (2003), Operation and performance of a color image sensor with layered photodiodes In: SPIE AeroSense 2003, April 22, Orlando, Florida, USA.
- GREIWE, A. & GEHRKE, R. (2013), Foveon Chip oder Bayer Pattern – geeignete Sensoren zur Aerophotogrammetrie mit AUS. In: LUHMANN, T. & MÜLLER, C. (Hrsg.), Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2013. Wichmann, Berlin/Offenbach, 334-343.
- GRENZDÖRFFER, G., ENGEL, A. & TEICHERT, B. (2008), The Photogrammetric Potential of Low-Cost UAVs in Forestry and Agriculture. In: ISPRS, Vol. XXXVII, Part B1, 1207-1214.
- METEOMEDIA.DE (2011), Wetterstationen Deutschland. <http://wetterstationen.meteomedia.de> (12.04.2011).
- VERHOEVEN, G. J. J. (2010), It's all about the format – unleashing the power of RAW aerial photography. International Journal of Remote Sensing, 31 (8), 2009-2042.