

## Zur Auswahl und Bewertung von Flächenflugzeug-Mikrodrohnen für die Luftbildvermessung



Oliver Gebauer, Pasching

Dieser Beitrag wurde als „reviewed paper“ angenommen.

### Kurzfassung

Der zu Aufklärungszwecken im militärischen Bereich erfolgreiche Einsatz unbemannter Mikrodrohnen (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) lenkte in den letzten Jahren die Aufmerksamkeit verschiedener Gruppen auf die Möglichkeiten dieser Systeme, deren ständige Weiterentwicklung inzwischen auch für das Vermessungswesen attraktive Chancen bietet.

Die in den Geräten vereinte Integration der in sich bereits anspruchsvollen Themenfelder Flugzeugtechnik, Sensorik, Elektronik, Software, Modellbau und Photogrammetrie schafft eine Komplexität, die es für Außenstehende schwierig macht, für ihre Anwendungen geeignete Produkte zu identifizieren. Es werden daher einige Punkte beleuchtet, die für die Auswahl und Nutzung dieser Systeme in der Geodäsie wichtig sind.

**Schlüsselwörter:** Mikrodrohnen, UAV, Auswahlkriterien, praktische Erfahrungen

### Abstract

The successful application of microdrones (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) in military intelligence has directed the attention of several groups onto the possibilities of these systems, whose continuing evolution meanwhile offers attractive chances for surveying purposes.

These systems integrate a handful of already challenging topics like aviation engineering, sensors, electronics, software, modelling and photogrammetry, which causes a degree of complexity that makes it difficult for outsiders to identify a good product. Therefore a few issues shall be highlighted, which are important for choosing and using these systems in surveying.

**Keywords:** Microdrones, UAV, Evaluation, practical experiences

Die in der bemannten Fliegerei verbreiteten Messverfahren des Laserscannings und der Photogrammetrie sind grundsätzlich auch für Mikrodrohnen (Abbildung 1) geeignet. Da derzeit noch keine ausreichend kleinen und leichten Laserscanner für geringe Nutzlasten von maximal 2 kg verfügbar sind, konzentriert sich das Angebot auf die Nutzung der Photogrammetrie als Messverfahren unter Verwendung von Kameras bis 1,5 kg Gewicht.

Befördert wurde die dynamische Entwicklung der UAV durch Fortschritte bei Lithium-Polymer Akkus, Faserverbundstoffen, elektrischen Außenläufermotoren, der Bildqualität, Pixeldichte und Gewichtsreduktion moderner Digitalkameras, preiswerten und stark verkleinerten mikroelektronischen Lage-, Richtungs- und Beschleunigungssensoren, der Genauigkeit der GPS-Sensorik und mikroelektronischer Funktechnik mit hoher Bandbreite auf öffentlich freigegebenen Frequenzen.



Abb. 1: Mikrodrohne der GeoSpy Aerial Imaging & Mapping GmbH

## 1. Nutzen von Mikrodrohnen

Das nahe liegende Motiv der Kostensenkung durch den Einsatz von Mikrodrohnen ist im Vergleich zum bemannten Bildflug nur für kleinräumige Gebiete bis 10 km<sup>2</sup> realisierbar. Die Großfliegerei erreicht bei großen Flächenbefliegungen eine hohe Produktivität, der jedoch die Kosten für Flugplätze, Flugsicherung, Betriebs- und Investitionskosten des Flugzeuges und aufwändiger Hardware, Hin- und Rückflug zum Zielgebiet und 2 Mann Personal entgegenstehen. Im Vermessungswesen sind jedoch gerade Aufgaben mit kleinen Losgrößen die tägliche Praxis. Dennoch sprechen eher qualitative Argumente für die Verwendung von Mikrodrohnen in der Geodäsie.

1. Die niedrige Flughöhe von 50–150 m über Grund ermöglicht trotz Verwendung deutlich kürzerer Brennweiten eine Bodenauflösung von 2 cm/Pixel.
2. Durch größere Bildöffnungswinkel können plastische 3D-Modelle errechnet werden, die auch auf vertikalen Flächen wie z.B. Gebäuden eine realitätsnahe Textur aufweisen.
3. Relativ hohe Wetterunabhängigkeit: Winterlicher Hochnebel, dichte Bewölkung oder Regen stellen keine Einschränkung des Betriebes dar.
4. Datenverfügbarkeit binnen 2 Tagen bei kleinräumigen Aufgabenstellungen: Beim bemannten Bildflug entstehen durch die wirtschaftlich notwendige Zusammenlegung mehrerer kleiner Aufträge Wartezeiten bis zur Auftragsabwicklung. UAV sind hingegen auch für einzelne kleine Aufträge wirtschaftlich einsetzbar.
5. Hohe Datendichte der entstehenden Orthofotos, Höhen- und 3D-Modelle:

Sie stellt den Hauptvorteil der Luftbildvermessung mit Mikrodrohnen gegenüber der terrestrischen Vermessung dar. Die Darstellung von Bruchkanten oder Höhenmodellen wird detaillierter, weil sich die Entfernung zweier Messpunkte von mehreren Metern auf wenige Zentimeter verkürzt. Bei der Berechnung von Volumina kann der Geländekontur theoretisch mit einer Bodenauflösung von 2 cm gefolgt werden. Querprofile können mit geringem Aufwand in großer Dichte dargestellt werden. Der Fehler der entstehenden 3D-Modelle ist durch die Verwendung nicht in die Modellberechnung einfließender Kontrollpunkte überprüfbar und liegt bei den meisten kommerziell verfügbaren Systemen in der Größenordnung des Differential-GPS (Siehe als Beispiel Abbildung 2).

Aus diesen Merkmalen ergibt sich, dass ein UAV-gestütztes, fotogrammetrisches Vermessungssystem gut geeignet ist für die Geländeerhebung im Tiefbau, Volumsberechnungen für Halden, Deponien, Rohstoffabbau und Bergbau, für allgemeine Vermessungsaufgaben großer Bauvorhaben, den Katastropheneinsatz (Murenabgänge, Überschwemmungen etc.) kleinflächige Kartographie, 3D-Dokumentation und mit Einschränkungen für die Gebäudevermessung. Wenig geeignet ist es im Hochgebirge, bei großen Höhenunterschieden von kleinräumigem Gelände, Gebieten über 15 km<sup>2</sup> Fläche und in Flugbeschränkungsgebieten der allgemeinen Luftfahrt.

## 2. Kriterien der Drohnenauswahl

Für Vermessungszwecke kommen Flächenflugzeuge mit Spannweiten von 80 cm bis 3 m und Multicopter mit 4 bis 10 Rotoren zur Anwendung. Multicopter gewinnen ihre Popularität aus ihrer auch für geschulte Laien guten Steuerbarkeit auf

# Label	X/East	Y/North	Z/Altitude	Error(m)	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)
P1004	77739.221000	359853.874000	499.647000	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000
P1010	77622.149000	360026.278000	501.518000	<b>0.019324</b>	<b>-0.003320</b>	<b>0.003339</b>	<b>-0.018741</b>
P1013	77592.261000	359961.442000	498.635000	<b>0.046620</b>	<b>-0.030979</b>	<b>0.010814</b>	<b>0.033117</b>
P1014	77584.351000	360033.258000	503.505000	<b>0.052064</b>	<b>-0.007972</b>	<b>0.021518</b>	<b>-0.046734</b>
P1001	77624.655000	359919.009000	497.718000	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000
P1002	77658.727000	359864.428000	499.923000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
P1003	77666.181000	359826.781000	503.175000	<b>0.081491</b>	<b>0.034476</b>	<b>-0.034463</b>	<b>0.065336</b>
P1006	77872.205000	359809.357000	498.172000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
P1007	77862.560000	359882.648000	492.003000	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000
P1008	77751.762000	359965.038000	493.748000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
P1009	77700.998000	360037.851000	496.214000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
P1011	77584.714000	360050.627000	504.915000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
P1012	77549.197000	359972.542000	499.789000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
P1015	77692.285000	360084.907000	498.599000	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000
P1005	77797.260000	359832.935000	499.004000	<b>0.084857</b>	<b>0.008853</b>	<b>0.015547</b>	<b>-0.082950</b>

Abb. 2: Beispiel für die Ermittlung von Messfehlern zwischen 3D-Modell und Kontrollpunkten

**Flächenbelastung:** entspricht dem Verhältnis zwischen Gewicht des Geräts und der Flügelfläche. Sie beeinflusst die erforderliche Flug- und →Überziehgeschwindigkeit und ist direkt proportional zur Flugstabilität (Einfluss von Turbulenzen und Windscherungen auf den Flugzustand, Veranschaulichung durch den Vergleich fallender Stein vs. fallende Feder)

**Überziehgeschwindigkeit (Stall Speed):** ist die Grenzgeschwindigkeit, bei deren Unterschreitung mangels Auftriebs kein stabiler Flugzustand mehr vorliegt. Sie ist direkt proportional zur Quadratwurzel der Flächenbelastung und indirekt zum maximalen Auftrieb des Flügels

**Auftrieb und Widerstand:** steigen mit dem Quadrat der Fluggeschwindigkeit und linear mit der Flügelfläche und dem Auftriebsbeiwert Da die Parameter Flügelfläche, Gewicht, Auftriebsbeiwert, Fluggeschwindigkeit, Energieverbrauch (=Reichweite), Start- und Landegeschwindigkeit im Zusammenhang zueinander stehen und die Bandbreite sinnvoller Größenverhältnisse im Hinblick auf gute Flugstabilität, geringe Start- und Landegeschwindigkeit, große Reichweite, hohe Nutzlast und niedrige Aufschlagsenergie schmal ist, kommt dem Wissen des Herstellers über Aerodynamik und Flugzeug- bzw. Modellbau deutlich größeres Gewicht zu, als die Kleinheit der Geräte suggeriert.

engstem Raum und der Möglichkeit, wie klassische Helikopter im Flug ihre Position zu halten und dabei die Flughöhe verändern zu können. Besonders in städtischen Gebieten sind sie nicht nur für die Vermessung sondern auch für Foto- und Videodokumentationen geeignet. Nachteilig ist ihre gegenüber Flächenflugzeugen deutlich geringere Energieeffizienz und damit Flugdauer.

Im Markt für Flächenflugzeuge zeichnet sich eine Abgrenzung zwischen Kleinstgeräten für Nutzlasten bis 300 g und Flächen um 1 km<sup>2</sup> sowie hochwertigen Systemen für Nutzlasten bis 2 kg mit Echtzeit-Videoüberwachung (Immersionflug, Remote Pilot), Fallschirmlandefähigkeit, geringer Windanfälligkeit, echtzeitfähiger Telemetrie, hochwertiger Flugplanungssoftware, Flugzeiten bis 90 min und Flächen bis 10 km<sup>2</sup> ab. Die Preisspanne liegt derzeit bei 10-60 TEUR.

Angesichts dieser Kosten, der Sicherheitsaspekte beim Betrieb des Gerätes und des mit dem Aufbau der notwendigen Infrastruktur für IT, Photogrammetrie und Flugbetrieb verbundenen

Aufwands sollte ein derartiges System sorgfältig ausgewählt werden.

Dieser Aufsatz beschränkt sich auf Auswahlkriterien bei Flächenflugzeugen, da sie aufgrund ihrer höheren Flugleistungen z.B. für Geländeerhebungen bei Flächen von 1–10 km<sup>2</sup> besser geeignet erscheinen.

Folgende Themen sollten bei der Entscheidung für ein Flächenflugzeug-UAV geprüft werden:

## 2.1 Startverfahren

Mechanische Starttrampen bieten im Vergleich mit dem Handstart ein definiertes Startverfahren, sind aber mit erhöhtem Zeit- bzw. Materialaufwand, größerem Systemgewicht und einem nicht unerheblichen Verletzungsrisiko verbunden. Durch ihr Gewicht schränken sie unter Umständen das Einsatzgebiet ein (Bsp. Gletscherbefliegungen, unwegsames Gelände). Sie werden bei Geräten mit hoher Flächenbelastung (=hoher Flug- und Überziehgeschwindigkeit) verwendet, die zum Teil nur mittels Fallschirm sicher gelandet werden können. Welche Bedeutung eine ausgewogene aerodynamische Konfiguration hat zeigte bei einem Test, dass auch der Vizeweltmeister im Wettbewerbs-Modellflug mit einem der teuersten Geräte des UAV-Marktes in mehreren Versuchen aufgrund der hohen Landegeschwindigkeit von 60 km/h kaum eine sichere und schadensfreie Landung durchführen konnte.

Der alternative Handstart setzt eine niedrige Überziehgeschwindigkeit voraus, die in der Nähe der Abwurfgeschwindigkeit liegen sollte. Der Pilot muss auch ohne weiteren Helfer bei Windstille und ohne hohe Anlaufgeschwindigkeit einen sicheren Start durchführen können.

Eine Autostartfunktion ist nicht zwingend erforderlich, reduziert jedoch das Risiko eines Fehlstarts. Mit ihr wird der Motor des UAV auf Vollgas geschaltet und die Fluglage bereits beim Abwurf vom Autopiloten geregelt, wobei eine stabiler Steigflug mit wählbarem Abflugwinkel und Höhengewinn bis zum Startpunkt des Flugpfades sichergestellt wird. Beim manuellen Start liegt das Startrisiko hauptsächlich in der Phase zwischen dem Abwurf und der Herstellung einer stabilen Fluglage durch die Handsteuerung.

## 2.2 Windanfälligkeit

Die Fähigkeit eines UAV, trotz Turbulenzen dem geplanten Flugpfad ohne größere Abweichungen und Änderungen der Fluglage zu folgen, hat aufgrund der qualitativen Anforderungen der Photogrammetrie große Bedeutung (Abbildung 3). Durch Lücken in der Bildüberlappung kann

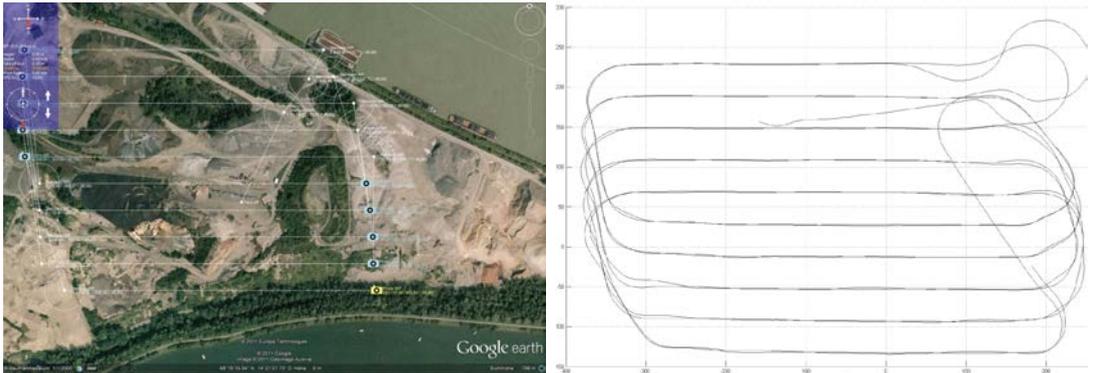


Abb. 3: Flugplanung und Vergleich mit dem tatsächlich geflogenen Flugpfad

die gesamte Befliegung unbrauchbar werden. Mit elektronisch gesteuerten Kameraaufhängungen (Gimbals) wird von einigen Herstellern versucht, Lageänderungen des UAV zu kompensieren. Die Schnelligkeit der Bewegungen limitiert jedoch deren Wirksamkeit. Durch hohe Eigenstabilität und gut gewählte Flächenbelastung können ungewollte Fluglageänderungen bereits durch konstruktive Maßnahmen minimiert werden. Der Anwender sollte eine Einsatztauglichkeit des UAV bis zu einer Windgeschwindigkeit von 40 km/h in Bodennähe erwarten können, wobei die Fluggeschwindigkeit in einem sinnvollen Verhältnis zu allfälligen Windscherungen stehen sollte.

### 2.3 Flugleistungen

Die Angaben der erzielbaren Flugzeit sind in Einzelfällen überprüfenswert und liegen zwischen 15 und 100 min. Für das Fliegen innerhalb der Sichtweite des Piloten (alternativ 500 m Entfernung) ist eine maximale Flugzeit von 45 min ausreichend. Bei einer für Flächenflugzeug-UAV typischen Fluggeschwindigkeit von 70 km/h und einer zu berücksichtigenden Reserve von 10 min errechnet sich eine Flugstrecke von rund 40 km und bei einer Bildüberlappung von 65% in beiden Dimensionen eine Abbildungs-Flächenleistung von 2,7 km<sup>2</sup>/h.

### 2.4 Landeverfahren

Im Vergleich zum privaten Modellflug haben die Landeeigenschaften eines UAV große Bedeutung. Hobbyflugmodelle werden in der Regel an Modellflugplätzen betrieben die befestigte Landepisten oder großzügig bemessene, ebene Wiesen-Landeflächen bieten. Auch verunglückte Landungen von Modellen mit und ohne Fahrwerk können so ohne Totalverlust enden. Überdies ist der wirtschaftliche Wert ihrer Nutzlast vergleichsweise gering.

Der Einsatz kommerziell genutzter UAVs erfolgt hingegen in der Regel unter nicht vorhersehbaren Landebedingungen, wodurch die Nutzung von Fahrwerken entfällt. Die Verwendung von Fallschirmen als primäres Landeverfahren erscheint angesichts der Kosten der Systeme dringend geboten. Derzeit bieten nur wenige Hersteller diese Option. Für ein konventionelles Landeverfahren sollte ein Landefeld von wenigstens 150×100 m zur Verfügung stehen und der Pilot gute Erfahrungen in der Steuerung von Modellflugzeugen besitzen.

### 2.5 Sicherheit

Die Sicherheit des Flugbetriebs eines UAV wird erfahrungsgemäss durch folgende Faktoren besonders gefährdet:

- Falsch eingeschätzte, verringerte Akkuleistung: Mit der Anzahl der Ladezyklen und falschen Ladeverfahren nimmt die Kapazität der Akkus ab
- Fertigungs- und konstruktive Mängel des UAV: Gängige Materialien sind Elapor (EPP), glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK), Kevlar und Kohlefaser (CFK). Elapor hat Gewichtsvorteile gegenüber allen Alternativen; geschäumt weist es deutlich höhere Festigkeit auf als geschnitten, benötigt aber große Wandstärken für ausreichende Stabilität, wodurch der Luftwiderstand des UAV steigt. Die Formstabilität bei Einwirkung von Hitze und mechanischem Druck ist gering, wodurch sich aerodynamische Eigenschaften verändern können. CFK ist besonders leicht und stabil, hat aber stark abschirmende Wirkung auf Funksignale und verhält sich bei Schlägen sehr spröde. Kevlar bietet gegenüber GFK und CFK Vorteile in der Schlag- und Bruchfestigkeit.
- Überhitzung des Motors und elektronischer Komponenten: Eine wirksame Belüftung des

Motors und der Reglerelektronik ist auch bei Elektromotoren unter allen Umständen sicherzustellen. Der Laie unterschätzt erfahrungsgemäß das Ausmaß der elektrischen und thermischen Belastung, die durch die heute möglichen hohen elektrischen Entladeströme von Lithium-Polymerakkus entstehen.

- **Funkstörungen:** Gefährdungen können durch Transformatorstationen, Hochspannungsfelder oder die Nähe starker Funkanlagen entstehen. Die Beurteilung der Maßnahmen des Herstellers zur Reduzierung dieser Gefahren ist für Laien schwierig bis unmöglich. Aus den Zulassungsverfahren der bemannten Fliegerei bekannte standardisierte Verfahren und Messungen sind bei der Entwicklung von Mikrodrohnen derzeit noch nicht gebräuchlich.
- **Hard- und Softwarefehler:** Im Gegensatz zur bemannten Fliegerei sind die Steuerungssysteme von UAV in der Regel nicht redundant und selbstüberwachend ausgeführt, wodurch Hardwareausfälle und Softwarefehler unmittelbare Auswirkungen auf die Sicherheit des Betriebs haben.

Weitere beachtenswerte Faktoren sind:

- **Schutz aller elektronischen Komponenten** gegen Feuchtigkeit und Nässe
- **Schutz von Kamera und Objektiv** gegen harte Landungen und Bodenkontakt
- **Telemetrie:** Der Datenaustausch mit dem UAV per Funk sollte die Übertragung der Flugplanungs- und Flugzustandsdaten in Echtzeit erlauben. Im Fall des Verlustes sollte durch Funkkontakt oder GSM-Netz die Position des UAV ermittelbar sein
- **Coming Home:** Für den Fall des unerwarteten Auftauchens eines anderen Luftfahrzeuges oder anderer Gefahren wie Turbulenzen, Vogelschwärme, zu niedrige Flughöhe bei Annäherung an hohe Hindernisse (Bsp. Kirchturm, Hochspannungsleitungen) etc. ist eine Coming-Home Funktion ein wirksames Sicherheitsmerkmal. Damit kann die Mission abgebrochen werden und das UAV unter Eigensteuerung auf direktem Weg zum Startpunkt zurückkehren. Der Nutzen dieser Funktion wird bei großer Entfernung zum Piloten an der Grenze zur Sichtbarkeit des UAV deutlich.
- **Benutzerfreundlichkeit:** Die Einfachheit der Bedienung und rasche Einsatzfähigkeit hat nennenswerten Einfluss auf den Nutzwert des Systems, weil seitenlange Checklisten

die Anfälligkeit für Fehlbedienungen deutlich erhöhen.

- **Flugplanung:** Die Festlegung des zu befliegenden Gebiets mit Definition der Bildüberlappung, Flughöhe und -geschwindigkeit, Flugpfad, Start- und Landeplatz und Kamerasteuerung sollte sowohl bei der Flugplanung im heimischen Büro als auch vor Ort möglich sein. Eine texturierte Kartendarstellung mit ausreichend hoher Auflösung ist dazu Voraussetzung. Eine für Navigationszwecke im PKW ausreichende schematische Kartendarstellung reicht nicht aus, weil UAV in der Vermessung häufig abseits von Strassen, Gebäuden und anderen markanten Geländemerkmale eingesetzt werden. „Schwache“ Geländemerkmale wie Sträucher, Bäume, Geländekanten, Felsen etc. dienen der Flugplanung und sind in der Regel nur in texturierten Karten erkennbar. Angaben über die Geländehöhe sind aufgrund der geringen Flughöhe über Grund für die Flugplanung zwingend erforderlich.

### 3. Die Kamerasteuerung

Bei einem mit Mikrodrohnen verwendeten typischen Bildwinkel von 70° und einer sich aus 80 m Flughöhe ergebenden Bodenauflösung von 2 cm/Pixel, sowie einer Auflösung von 24 Megapixel pro Bild muss bei oben erwähnten Flugdaten die Kamera alle 1,1 sec bzw. 22 m ausgelöst werden, woraus sich die Produktion von 1159 Fotos/km<sup>2</sup> errechnet, die einer Datenmenge von rund 10 GB entspricht (siehe Beispiel Abbildung 4). Deren Verarbeitung erfordert eine über die Möglichkeiten konventioneller Desktoprechner deutlich hinausgehende Leistung, die in der Regel von Multiprozessorsystemen mit mehreren Hochleistungs-Grafikprozessoren und wenigstens 64 GB Hauptspeicher, sowie Festplatten ab 1 TB erreicht wird.

Zur Minimierung des Rechenaufwands werden – meistens durch IMU (Inertial Measurement Units) unterstützte, mit GPS ermittelte – Kameraauslösepositionen benötigt, die vom UAV bereitgestellt werden müssen. Das Fokussierungs- und Belichtungsverfahren der häufig verwendeten Consumer-Digitalkameras garantiert nicht, dass die Bildauslösung bei der erforderlichen, relativ kurzen Bildfolge tatsächlich durchgeführt wird. Die Kamerasteuerung muss daher in der Lage sein, durch Erfassung der Auslöserückmeldung die korrekte Zuordnung der Bilder zu den Positionsdaten sicherzustellen, weil bereits eine einzige Falschzuordnung die Positionsdaten des gesamten Fluges unbrauchbar macht.

Eine exakte Georeferenzierung wird zwar in der Regel durch vermessene Bodenkontrollpunkte gewährleistet, die Dauer der fotogrammetrischen Modellberechnung erhöht sich jedoch durch fehlende Kamerapositionsdaten mit dem Quadrat der Bildanzahl und damit durchaus um einen Faktor 10 bzw. viele Stunden, bei großen Flächen auch Tage.

Ein häufiger Einwand ist die Erwartung von Bewegungsunschärfe, die für die Präzision der Modellberechnung nachteilig wäre. Durch die niedrige Fluggeschwindigkeit der UAV von 50–100 km/h ist dieses Problem im Vergleich zum bemannten Bildflug reduziert und weitgehend vernachlässigbar. Moderne Digitalkameras können mit ISO 1600 ohne erkennbare Einbußen der Bildqualität (Körnigkeit) betrieben werden, woraus sich auch bei Bewölkung Belichtungszeiten von 1/1500 sec, bei wolkenlosem Himmel bis 1/4000 sec erzielen lassen. In den meisten Fällen muss auch nicht mit Offenblende belichtet werden.

Wesentlich größeren Einfluss auf die Bildqualität hat die Qualität des Objektivs, die insbesondere bei Kleinst-UAV bisweilen vernachlässigt wird. Optische Verzerrungen, Randabfall (Vignettierung) und Farbsäume (chromatische Aberrationen) wirken sich deutlich nachteilig auf das Matching der Bildpunkte sich überlappenden Bilder aus und können mit hochwertigen Objektiven minimiert werden. Die neuen Systemkameras mit Wechseloptiken bieten in dieser

Hinsicht gegenüber Kompaktkameras deutliche Qualitätsvorteile und auch größere Bildwinkel.

#### 4. Gesetzeslage

Mit der im Mai 2013 veröffentlichten und per 1.1.2014 in Kraft tretenden Novellierung des österreichischen Luftfahrtgesetzes wird unter anderem die gewerbliche Nutzung von Modellfluggeräten erstmals geregelt. Mit dieser Novelle wurde erstmals der Begriff des unbemannten Luftfahrzeuges in die österreichische Luftfahrtgesetzgebung eingeführt. Neben einer Reihe von Detailregelungen ist insbesondere der für gewerbliche Mikrodrohnenbetreiber wesentliche §24f von Bedeutung (siehe dazu auch [1]). Darin heißt es:

Unbemannte Luftfahrzeuge der Klasse 1

§24f.(1) Unbemannte Luftfahrzeuge der Klasse 1 sind nicht der Landesverteidigung dienende unbemannte Fahrzeuge, die selbständig im Fluge verwendet werden können und in direkter, ohne technische Hilfsmittel bestehender Sichtverbindung zum Piloten

1. auch in einem Umkreis von mehr als 500 m und/oder
2. gegen Entgelt oder gewerblich oder zu anderen als in §24c Abs. 1 Z 2 genannten Zwecken betrieben werden.

(2) Unbemannte Luftfahrzeuge der Klasse 1 dürfen nur mit Bewilligung der Austro Control GmbH oder einer auf Grund einer Übertragung



Abb. 4: Screenshot eines fotogrammetrisch erstellten 3D-Modells mit Darstellung der Kamerapositionen

gemäß § 140b zuständige Behörde betrieben werden. Diese Bewilligung ist zu erteilen, wenn

1. vom Antragsteller glaubhaft gemacht werden kann, dass das unbemannte Luftfahrzeug der Klasse 1 den gemäß § 24h erlassenen Lufttüchtigkeits- und Betriebstüchtigkeitsanforderungen entspricht, sowie
2. durch den Betrieb des unbemannten Luftfahrzeuges der Klasse 1 das öffentliche Interesse der Sicherheit der Luftfahrt nicht gefährdet wird.

(3) Die Bewilligung gemäß Abs. 2 ist insoweit bedingt, befristet und mit Auflagen zu erteilen, als dies im Interesse der Sicherheit der Luftfahrt erforderlich ist. Die Bewilligung ist zu widerrufen, wenn einer der Bewilligungsvoraussetzungen nicht oder nicht mehr gegeben ist oder gegen Auflagen verstoßen worden ist. Bewilligungen oder Zertifizierungen, die von einem Mitgliedsstaat der europäischen Union oder einem durch zwischenstaatliche Vereinbarung gleichgestellten Staat ausgestellt worden sind, sind von der Austro Control GmbH oder der auf Grund einer Übertragung gemäß § 140b zuständigen Behörde anzuerkennen, soweit in dem jeweiligen Staat zumindest die gleichen Lufttüchtigkeits- und Betriebstüchtigkeitsanforderungen gestellt werden.

(4) Die Bestimmungen des § 13 und § 17 sowie die für Luftfahrzeuge geltenden Bestimmungen über die Haftung und Versicherung gemäß den §§ 146 bis 168 sind anzuwenden. Weiters ist § 136 anzuwenden, wobei das unbemannte Luftfahrzeug der Klasse 1 als Zivilluftfahrzeug im Sinne dieser Bestimmung gilt.

(5) Etwaige vom Bundesminister für Verkehr, Innovation und Technologie in einer Verordnung gemäß § 124 erlassene Bestimmungen über den Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugen der Klasse 1 bleiben unberührt.

(6) Der Betrieb eines unbemannten Luftfahrzeuges der Klasse 1 innerhalb von Sicherheitszonen bei Militärflugplätzen ist nur mit Bewilligung des Bundesministers für Landesverteidigung und Sport zulässig. Diese Bewilligung ist insoweit bedingt, befristet oder mit Auflagen zu erteilen, als dies im Interesse der Sicherheit der Luftfahrt bzw. im Interesse der Landesverteidigung erforderlich ist. Die Bewilligung ist zu widerrufen, wenn einer der Bewilligungsvoraussetzungen nicht oder nicht mehr gegeben ist oder gegen Auflagen verstoßen worden ist.

UAV dürfen damit zukünftig auch in mehr als 500m Entfernung vom Piloten gewerblich betrieben werden, sofern eine optische und nicht durch technische Unterstützung bewirkte Sichtverbindung besteht. Bei den bisher marktüblichen Spannweiten von UAV ist davon auszugehen, dass eine Entfernung von 500m zum Piloten für die manuelle Steuerbarkeit des Fluggerätes eine kritische Grenze darstellt.

Für Anwendungen von UAV, die größere Distanzen zum Piloten erfordern, wurde mit dem § 24g eine Klasse 2 unbemannter Luftfahrzeuge geschaffen. Dieser lautet:

§ 24g. (1) Unbemannte Luftfahrzeuge der Klasse 2 sind nicht der Landesverteidigung dienende unbemannte Fahrzeuge, die selbständig im Fluge verwendet werden können und ohne Sichtverbindung betrieben werden.

(2) Für unbemannte Luftfahrzeuge der Klasse 2 sind sämtliche für Zivilluftfahrzeuge und deren Betrieb geltende Bestimmungen dieses Bundesgesetzes oder von auf Grund dieses Bundesgesetzes erlassenen Verordnungen anzuwenden. Der Bundesminister für Verkehr, Innovation und Technologie kann mit Verordnung Sonderbestimmungen für unbemannte Luftfahrzeuge der Klasse 2 festlegen, wenn dadurch das öffentliche Interesse der Sicherheit der Luftfahrt nicht gefährdet wird.

Die Zulassungsanforderungen an diese UAV sind damit jenen der Großfliegerei gleichgestellt. Angesichts der bekannt aufwändigen Zulassungsverfahren kann man vermuten, dass die Erfüllung dieser Bedingungen für die Hersteller von Mikrodrohnen außerhalb ihrer wirtschaftlichen und technischen Möglichkeiten liegen wird und sich diese Geräteklasse nur für die Zulassung von Drohnen mit Abfluggewichten mehrerer 100 bis 1000 kg eignet.

Dem Betreiber einer Mikrodrohne sollte bewusst sein, dass er sich nicht auf die Fähigkeit des UAV verlassen sollte, vom Start bis zur Landung vollständig autonom zu fliegen. Unabhängig von der Gesetzeslage ist ausreichende Erfahrung mit der Steuerung von Modellflugzeugen eine dringend empfohlene Voraussetzung auch für den Betrieb von UAV.

### Zusammenfassung

Autonom fliegende Mikrodrohnen stellen ein geeignetes Mittel zur fotogrammetrischen Geländevermessung für Flächen bis 10km<sup>2</sup> dar. Durch die Zusammenführung unterschiedlicher Technologien ist ihr Betrieb jedoch eine Her-

ausforderung für Betreiber, die durch intensive Beschäftigung mit der Materie auch für Laien als zunehmend bewältigbar erscheint. Der Markt für UAV ist sehr dynamisch und wird durch laufend verbesserte Systeme als Alternative zur terrestrischen Vermessung immer attraktiver. Der Gesetzgeber hat in Österreich bereits die Voraussetzungen für den legalen Betrieb von UAV im gewerblichen Einsatz geschaffen.

#### Referenzen

- [1] Republik Österreich, Änderung des Luftfahrtgesetzes, [http://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXIV//I\\_02299/fname\\_301325.pdf](http://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXIV//I_02299/fname_301325.pdf)

#### Anschrift des Autors

Mag. Dr. Oliver Gebauer, Geschäftsführer GeoSpy Aerial Imaging & Mapping GmbH  
Thurnhartingerstr. 13, 4061 Pasching.  
E-Mail: [oliver.gebauer@geospy.at](mailto:oliver.gebauer@geospy.at)

vgi



**GeoSpy.at**  
**Aerial Imaging & Mapping**

**Luftbildvermessung  
mit Mikrodrohnen**

- 3D Modelle
- Referenzierte Orthofotos
- Geländemodelle
- Bruchkanten
- Volumensberechnungen  
in 2cm Bodenauflösung

**office@geospy.at**  
**Tel. 0676/3289463**