

Anwendung von UAVs in der Katastervermessung

Use of UAVs in Cadastral Surveying

Madeleine Manyoky, Pascal Theiler, Daniel Steudler und Henri Eisenbeiss

Autonome Flugsysteme (UAVs – Unmanned Aerial Vehicles) werden immer häufiger für zivile Anwendungen eingesetzt. UAVs sind sehr flexibel und können von verschiedenen Blickwinkeln ein Objekt (z.B.: Haus, Baukörper oder komplexes Grundstück) dokumentieren. Im Bereich der Katastervermessung wurden erste Untersuchungen im Rahmen einer Pilotstudie durchgeführt, wobei zwei Testgebiete in der Schweiz mittels kombinierter Tachymeter-GNSS-Messungen und einer UAV-Plattform erfasst wurden. Die abgeleiteten Ergebnisse aus beiden Methoden sind vergleichbar und zeigen, dass mittels UAVs effizient Geodaten aufgenommen werden können. Die erzielten Ergebnisse aus den UAV-Daten erfüllten die verlangten Genauigkeitsanforderungen von Punktmessungen in den Testgebieten.

Schlüsselbegriffe: Katastervermessung, UAV, Totalstation, GNSS

Nowadays, unmanned aerial vehicles (UAVs) are more often used for civilian applications. UAVs are highly flexible and thus, they can be used for the documentation of objects (e.g. buildings, structures and complex estates) from different viewing directions. In a pilot study first investigations were conducted in the field of cadastral surveying through combined measurements with total station & GNSS and a UAV system for two test sites in Switzerland. The generated results from both methods are comparable and furthermore, the results show that geodata can be efficiently acquired with UAVs. The achieved UAV results are fulfilling the accuracy requirements for point measurements in the test site areas.

Key words: Cadastral surveying, UAV, total station, GNSS

1 EINLEITUNG

Die steigende Nachfrage an 3D-Geodaten und deren Verwendung in GIS-Applikationen führt zu vermehrtem Bedarf an effizienten Messmethoden für die Erfassung von georeferenzierten Daten. Auch in der Katastervermessung werden die Geodaten zunehmend mit zusätzlichen Informationen aus Bildern, Orthophotos, 3D-Modellen von Objekten sowie Geländemodellen ergänzt. Eine Möglichkeit zur Erfassung solcher georeferenzierten Daten bieten UAVs (**U**n**m**anned **A**erial **V**ehicles).

Der Begriff UAV steht für unbemannte Flugobjekte wie beispielsweise ferngesteuerte Modellhelikopter oder Flächenflieger (Eisenbeiss 2009). In der Geomatik haben in den letzten Jahren die UAVs als Datenaufnahmeplattformen immer mehr an Bedeutung gewonnen. Am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich wurde im Rahmen einer Pilotstudie der Einsatz von UAVs zur Erfassung von Geodaten für die Katastervermessung untersucht und mit herkömmlichen Aufnahmemethoden verglichen. Ziel der Studie war

es, den Einsatz von UAVs in der Katastervermessung zu testen und anhand der Genauigkeitsanforderungen zu prüfen. Um einen Bezug für sämtliche deutschsprachigen Regionen herzustellen, wurde ein Vergleich der Genauigkeitsforderungen in Deutschland, Österreich und der Schweiz durchgeführt.

2 GENAUIGKEITSANFORDERUNGEN DER KATASTERVERMESSUNG IN DEUTSCHLAND, ÖSTERREICH UND DER SCHWEIZ

In der Bundesrepublik Deutschland ist die Katastervermessung grundsätzlich Sache der Bundesländer, da im Grundgesetz keine speziellen Regelungen getroffen werden. Die Bundesländer besitzen somit die Kompetenz der Gesetzgebung für die Katastervermessung, was dazu führt, dass die 16 Länder unterschiedliche Rechtsnormen haben. Dies gilt auch für Genauigkeitsanforderungen bei Liegenschaftsvermessungen, sofern solche für die Punktlage überhaupt

vorgegeben sind. Übergeordnete Genauigkeitsanforderungen auf Bundesebene existieren nicht. Derzeit gibt es innerhalb der AdV (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland) keine den Autoren bekannten Bestrebungen, die Genauigkeitsanforderungen im Liegenschaftskataster auf AdV-Ebene und somit auf Bundesebene zu vereinheitlichen. Um dennoch einen Vergleich mit den in der Pilotstudie erreichten Genauigkeiten durchführen zu können, werden die Genauigkeitsanforderungen in Bayern genauer betrachtet.

Die Anforderungen für Vermessungen in Bayern sind in der Katasteranweisung (KatA 2010) geregelt. Die KatA umfasst Anweisungen zur Fortführung und Nutzung des Liegenschaftskatasters. In Kapitel 6 sind die Genauigkeitsanforderungen nach Messverfahren angegeben. Dabei wird zwischen polaren und satellitengestützten Messverfahren unterschieden. Da das UAV unter keine der genannten Messverfahren fällt, werden hier beide Anforderungen an die Genauigkeiten erläutert.

Das satellitengestützte Messverfahren in Bayern: „Der mittlere Fehler der Ergebnisse darf 0,03 m in der Lage und 0,05 m in der Höhe nicht überschreiten. Innerhalb dieser Schranken sind die Ergebnisse zu mitteln.“ (Kapitel 6.2.2 KatA 2010).

Das polare Messverfahren in Bayern: Die lineare Abweichung der aus Doppelaufnahmen berechneten Koordinaten darf höchstens 3 cm betragen (6.1.3 KatA 2010). Konkrete Genauigkeitsanforderungen zur Höhe sind den Autoren nicht bekannt.

In Österreich sind die Vorschriften für die Genauigkeitsanforderungen in der Vermessungsverordnung aus dem Jahre 1994 festgehalten (VermV 1994). Diese Verordnung wurde bereits durch eine neue Version ersetzt, die aber aus technischen und rechtlichen Gründen voraussichtlich erst im kommenden Jahr 2012 in Kraft treten wird. In der Vermessungsverordnung von 1994 sind die Genauigkeitsanforderungen in § 7 VermV wie folgt definiert:

§ 7. Die Vermessung ist so vorzunehmen, dass unter Bedachtnahme auf die mittlere Punktlagegenauigkeit der Festpunkte (Triangulierungspunkte ± 5 cm, Einschaltpunkte ± 7 cm) die nachstehend angegebene mittlere Punktlagegenauigkeit nicht überschritten wird:

- 1. bei der Bestimmung von Standpunkten: ± 10 cm*
- 2. bei der Bestimmung von Grenzpunkten: ± 15 cm*

In der ab voraussichtlich nächstem Jahr gültigen Vermessungsverordnung 2010 (VermV 2010) wird folgendes über die geforderte Genauigkeit der Messungen in § 6 definiert:

§ 6. (1) Die Bestimmung der Messpunkte ist so vorzunehmen, dass eine mittlere Punktlagegenauigkeit der einzelnen Messpunkte von 4 cm unter der Annahme fehlerfreier Festpunkte nicht überschritten wird.

(2) Die Bestimmung der Grenzpunkte ist so vorzunehmen, dass bei Kontrollmessung eine maximale Abweichung von 5 cm nicht überschritten wird.

Standpunkte sind Fest- oder Messpunkte, von denen aus Messungen von Grenz- und sonstigen Punkten vorgenommen werden. Die mittlere Punktlagegenauigkeit ist ein empirischer Wert, der die Genauigkeit der Lage von Fest-, Mess- und Grenzpunkten definiert (VermV 2010, § 1.13 und § 1.17).

In der Schweiz ist die geforderte Genauigkeit der Katastervermessung in der Technischen Verordnung der Amtlichen Vermessung (TVAV 2008) festgehalten. Im Schweizerischen Kataster wird der Raum in 5 Territorien mit unterschiedlichen Toleranzstufen der Vermessung aufgeteilt (Art. 3 TVAV):

TS 1: Stadtgebiete

TS 2: Überbaute Gebiete und Bauzonen

TS 3: Intensiv genutzte Landwirtschafts- und Forstwirtschaftsgebiete

TS 4: Extensiv genutzte Landwirtschafts- und Forstwirtschaftsgebiete

TS 5: Das Sömmerungsgebiet und unproduktive Gebiete

Tabelle 1 | Standardabweichung für die Toleranzstufen TS2 und TS3

	TS2	TS3
Lagegenauigkeit		
Bodenbedeckung und Einzelobjekte	10 cm	20 cm
Liegenschaften und Hoheitsgrenzen	3.5 cm	7 cm
– Nicht exakt definierter Punkt	20 cm	35 cm
Höhengenaugigkeit		
Höhen (DTM 2 m Gitter)	80 cm	80 cm
– Nicht exakt definierte Terrains	200 cm	200 cm

In TVAV 3. Kapitel: *Genauigkeit und Zuverlässigkeit*, sind sämtliche Genauigkeiten für entsprechende Punkte (z.B. Liegenschaftspunkte, Grenzpunkte, Bodenbedeckung) in den jeweiligen Toleranzstufen tabellarisch in [cm]-Einheit aufgelistet. In der *Tabelle 1* sind die geforderten Lage- und Höhengenaugigkeiten von bestimmten Informationsebenen der TVAV angegeben, die für die Pilotstudie relevant sind.

3 MESSSYSTEME: TOTALSTATION, GNSS UND UAV

In der Katastervermessung kommen für die Datenaufnahme hauptsächlich Totalstationen und GNSS-Empfänger (**Global Navigation Satellite System**) zum Einsatz. Diese Messinstrumente sind hinsichtlich Leistungen und Genauigkeitsanforderungen für spezifische Messaufgaben optimiert und eignen sich hauptsächlich für die Aufnahme von einzelnen Messpunkten. Im Gegensatz zu diesen klassischen Vermessungssystemen werden für die Erstellung und Aktualisierung von grossen Gebieten hauptsächlich flugzeug- und satellitengestützte Photogrammetrie und Fernerkundung eingesetzt. Die daraus generierten Geodaten haben aber eine Limitierung in der geometrischen Bodenaufklärung aufgrund der Flughöhe, den verwendeten Sensoren, der Aufnahmegeometrie und den hohen Kosten. Sie sind damit für den Einsatz in der Katastervermessung ungeeignet. Im Bereich der UAVs gab es in den letzten 10 Jahren, vorwiegend durch den Fortschritt in der Robotik und der Elektrotechnik, vielversprechende Entwicklungen. UAV-Systeme können in autonomem Modus vordefinierte Routen automatisch abfliegen und Daten wie beispielsweise Bilder oder Punktwolken erzeugen oder sogar durch ein unbekanntes Gebiet navigieren und neue Daten erfassen. UAVs sind mit Sensoren für die Navigation, die Positionierung

des Systems und die Datenerfassung des Gebietes ausgestattet. Für das Navigieren und das Positionieren werden unter anderem GNSS- und INS-Sensoren (**Inertial Navigation System**) verwendet, die mit Höhenmesser und elektronischem Kompass ergänzt werden. Für die Datenerfassung werden vorwiegend low-cost Kameras oder Laserscanner verwendet. Vorteile von UAVs sind die hohe Flexibilität sowie die schnelle und damit effiziente Erfassung kleiner wie auch grosser Aufnahmegebiete. Das Potenzial der UAV-Systeme liegt in der Fähigkeit, grosse Gebiete relativ schnell und mit geringer Flughöhe abzufliegen. Der autonome Einsatz von UAVs ist allerdings vom Gesetzgeber zurzeit nicht überall erlaubt. Es ist aber aufgrund der Entwicklungen in der Industrie anzunehmen, dass bereits in den kommenden Jahren autonom navigierende Flugsysteme für zivile Anwendungen eine gesetzliche Grundlage erhalten können (Manyoky et al. 2011a, 2011b).

4 PILOTSTUDIE: TESTMESSUNGEN IM FELD

In der durchgeführten Pilotstudie am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich wurden zwei unterschiedliche Messgebiete mit zwei Methoden aufgenommen: Zum einen mit UAV, zum anderen mit Totalstation und GNSS-Empfänger. Das erste Messgebiet Krattigen liegt im Berner Oberland und ist ein typisches Grundstück im ländlichen Siedlungsgebiet der Schweizer Voralpen. Das zweite Messgebiet wurde im Vorstadtgebiet von Zürich am Campus Science City (Hönggerberg) der ETH Zürich gewählt. Durch die Wahl der Messgebiete soll die Anwendung von UAVs in unterschiedlichen Gegenden mit unterschiedlichen Aufnahme- und Auswertebedingungen aufgezeigt werden. *Abbildung 1* zeigt die beiden Testgebiete, aufgenommen mit einem UAV.

In beiden Messgebieten wurden die Grundstücksgrenzen, die Gebäudeeckpunkte und die umliegende Vegetation mittels Totalstation und GNSS sowie auch mit UAV aufgenommen. Für die Datenaufnahme mittels UAV mussten die Punkte der amtlichen Vermessung Schweiz (AV) mit Zielmarken signalisiert werden. Weiter wurden eine Flugplanung und die Befliegung mit Bildaufnahme nach vordefinierter Flugroute, durchgeführt. Für die Aufnahmemethode mit Totalstation und GNSS wurden bekannte Anschlusspunkte im Gebiet eingemessen, von denen aus weitere Objekte aufgenommen wurden. Die Datenauswertung der Methode UAV umfasst hauptsächlich die Orientierung der aufgenommenen Luftbilder und das Messen von Objektgeometrien. Zudem können weitere Infor-



Abb. 1 | Links: UAV-Aufnahme vom Gebiet Krattigen; Rechts: UAV-Bild mit einem Ausschnitt des Gebietes Science City (ETH Zürich).

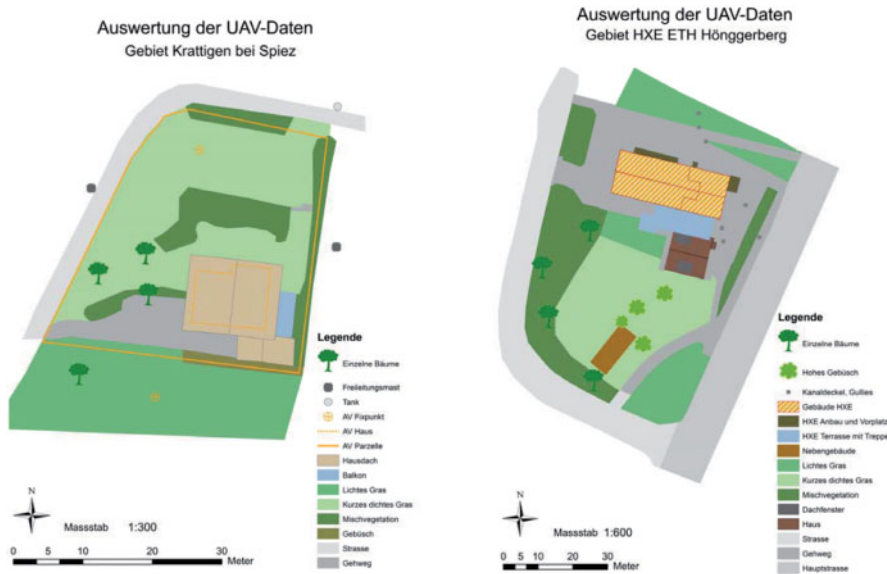


Abb. 2 | Generierte Pläne aus UAV-Bilddaten. Links: Gebiet Krattigen (Berner Oberland); Rechts: Gebiet Hönggerberg (ETH Zürich).

mationen aus den Bildern abgeleitet werden, indem digitale Höhenmodelle, Orthofotos oder 3D-Modellierungen aufgrund der orientierten Bilder mit photogrammetrischen Methoden erstellt werden.

Die Datenauswertung der Methode Totalstation und GNSS-Empfänger wurde möglichst an die Katastervermessung angelehnt. Alle Teilschritte des Workflows, von der Datenaufnahme, der Datenbereinigung, den Berechnungen bis hin zur Planerstellung wurden für beide Gebiete durchgeführt. In *Abbildung 2* sind die resultierenden Pläne aus den UAV-Daten für die Gebiete Hönggerberg und Krattigen dargestellt.

5 RESULTATE

Bei der Auswertung der UAV-Daten wurde festgestellt, dass für eine gute Bildorientierung eine gute Kamerakalibrierung der Low-cost-Kameras unabdingbar ist. Zusätzlich sind die Bildqualität und die Definition der Passpunkte (Zielmarken) im Bild ausschlaggebend für die Qualität der Ergebnisse. Um eine Aussage über den Einsatz der UAV-Daten in der Katastervermessung geben zu können, wurden die erreichten Ergebnisse mit den oben definierten Genauigkeitsanforderungen der Katastervermessung verglichen.

In Deutschland sieht die KatA von Bayern bislang den Einsatz von UAVs als Messmethode nicht vor. Dennoch werden die angegebenen Genauigkeitsanforderungen sowohl für das polare, als auch das satellitengestützte Messverfahren von den erreichten Genauigkeiten mit dem UAV-System von 2,3 cm in der Lage und 3,8 cm in der Höhe unterschritten.

In Österreich liegen die Genauigkeitsanforderungen derzeit für Grenz- und weitere Punkte im Feld generell bei ± 15 cm beziehungsweise voraussichtlich ab nächstem Jahr mit 4 cm Punktlagegenauigkeit. Verglichen mit den erreichten Genauigkeiten aus den UAV-Luftbildern zeigt sich, dass die mit den erreichten Genauigkeiten von durchschnittlich 2,3 cm in der Lage die Ansprüche der derzeitigen, als auch der ab dem nächsten Jahr gültigen Vermessungsverordnung durchaus genügen.

In der Schweiz werden in der TVAV methodenunabhängige Genauigkeitsanforderungen definiert. Hingegen sind die Messgebiete in Toleranzstufen eingeteilt: In der Pilotstudie sind dies die TS2 (Gebiet Hönggerberg) und die TS3 (Gebiet Krattigen). Bei der Informationsebene „Bodenbedeckung“ und „Einzelobjekte“ liegen die geforderten Lagegenauigkeiten bei 10 cm (TS2) und 20 cm (TS3), siehe *Tabelle 1*. Die mit der Methode UAV erreichten Genauigkeiten von durchschnittlich 2,3 cm in der Lage und 3,8 cm in der Höhe (Gebiet Hönggerberg, TS2) erfüllen die Ansprüche der Technischen Verordnung der amtlichen Vermessung. Mit der Methode UAV können demnach Bodenbedeckungen und Einzelobjekte wie Gebäude, Straßen, Wege, Trottoirs, Äcker, Gartenanlagen, Gewässer oder auch Waldränder etc. aufgenommen werden. Die durchschnittlichen Lageabweichungen zu Referenzpunkten der amtlichen Vermessung in der Informationsebene „Liegenschaften“ und „Hoheitsgrenzen“ betragen durchschnittlich lediglich 1,8 cm (Gebiet Hönggerberg, TS2) und 2,0 cm (Krattigen, TS3), was wiederum deutlich unter der geforderten Lagegenauigkeit von 3,5 cm (TS2) und 7 cm (TS3) liegen, siehe *Tabelle 1*.

6 SCHLUSSFOLGERUNG

Die Auswertung der UAV-Daten zeigt, dass durch eine Optimierung der Bildorientierung Genauigkeitswerte erreicht werden können, die den Anforderungen der Katastervermessung genügen: Die geforderten Genauigkeiten in der Schweiz, die in der technischen Verordnung der amtlichen Vermessung (TVAV 2008) verankert sind, aber auch die geforderten Genauigkeiten in Österreich (VermV 1994 als auch 2010) und in Deutschland in Bayern (KatA 2010) werden bei einem Einsatz von UAVs eingehalten.

Die Anwendung von UAVs in der Katastervermessung scheint angemessen für die Aufnahme von Gebietsflächen: Ist das Gebiet schon in der Katastervermessung dokumentiert, können zusätzlich Informationen wie die Bodenbedeckung oder Einzelobjekte effizient aufgenommen werden. Die Methode UAV kann als Ergänzung zu

standardmäßigen Verfahren in der Katastervermessung eingesetzt werden.

Die Methode UAV bietet mit den geeigneten photogrammetrischen Auswertemethoden ein grosses Potenzial, sämtliche Informationen aus den aufgenommenen Daten zu gewinnen, die für die Katastervermessung nützlich sind. Die Ergebnisse zeigen, dass die Methode UAV bei ähnlichem Zeitaufwand gegenüber der Methode mit Totalstation und GNSS gute Resultate erzielen kann. Es darf weiter ergänzt werden, dass aus den UAV-Bilddaten nebst dem Katasterplan weitere Daten wie beispielsweise Orthofotos oder texturierte 3D-Gebäudemodelle zu Dokumentationszwecken abgeleitet werden können. Diese Derivate aus der Vermessung können einen großen Mehrwert für Nutzer von Katasterdaten, wie zum Beispiel Immobilien und Versicherungsfirmer darstellen. Sind Daten von schwer zugänglichen Gebieten notwendig, wie beispielsweise nach einer Katastrophe oder in Drittweltländern, bietet sich das UAV als sinnvolle Alternative zur Tachymetrie an.

UAVs können in Anwendungsbereichen eingesetzt werden, wo hohe Genauigkeitsanforderungen bestehen und eine schnelle Datenerfassung verlangt wird. Mit der Weiterentwicklung von UAV-spezifischen Systemtechnologien wird sich die Einsetzbarkeit der UAVs in der Katastervermessung in der Zukunft verbessern und deren Workflow optimieren.

LITERATUR

- [1] Eisenbeiss, H. 2009: Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, Schweiz, Mitteilungen Nr.105, 235 Seiten.
- [2] Manyoky, M.; Theiler, P.; Steudler, D.; Eisenbeiss, H. 2011a: Anwendung von UAV's in der Katastervermessung, cadastre, 5 (April 2011), Seiten 16-17.
- [3] Manyoky, M.; Theiler, P.; Steudler, D.; Eisenbeiss, H. 2011b: Unmanned aerial vehicle in cadastral applications, In: ISPRS Archives XXXVIII-1/C22 with ISSN Number: 1682-1777, UAV-g 2011, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland.
- [4] TVAV, 2008: Das Eidgenössische Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport, Technische Verordnung des VBS über die amtliche Vermessung, 10. Juni 1994 (Stand 1. Juli 2008).
- [5] VAV, 2008: Der Schweizerische Bundesrat, Verordnung über die amtliche Vermessung, 18. November 1992 (Stand 1. Juli 2008).
- [6] VermV, 1994: Bundeskanzleramt Rechtsinformationssystem: Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Vermessungsverordnung 1994.
- [7] VermV, 2011: Bundeskanzleramt Rechtsinformationssystem: Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 2010, Teil II, 115. Verordnung: Vermessungsverordnung 2010 (Ausgegeben am 15. April 2010).
- [8] KatA, 2010: Anweisung zur Fortführung und Nutzung des Liegenschaftskatasters, Katasteranweisung Bayern, Erlassdatum 12. Februar 2007 (Stand 22. Januar 2010).

MSc ETH Madeleine Manyoky

INSTITUT FÜR RAUM- U.
LANDSCHAFTSENTWICKLUNG
ETH ZÜRICH

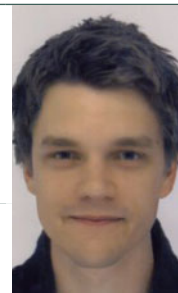
ETH Zürich, Wolfgang-Pauli-Strasse 15
E-Mail: manyoky@nsl.ethz.ch



MSc ETH Pascal Theiler

INSTITUT FÜR RAUM- U.
LANDSCHAFTSENTWICKLUNG
ETH ZÜRICH

ETH Zürich, Wolfgang-Pauli-Strasse 15
E-Mail: pascal.theiler@geod.baug.ethz.ch



Dr. Daniel Steudler

SWISSTOPO
BUNDESAMT FÜR LANDESTOPOGRAFIE

Seftigenstrasse 264, 3084 Wabern
E-Mail: Daniel.Steudler@swisstopo.ch



Dr. sc. ETH Henri Eisenbeiss

INSTITUT FÜR RAUM- U.
LANDSCHAFTSENTWICKLUNG
ETH ZÜRICH

ETH Zürich, Wolfgang-Pauli-Strasse 15
E-Mail: henri.eisenbeiss@geod.baug.ethz.ch

