

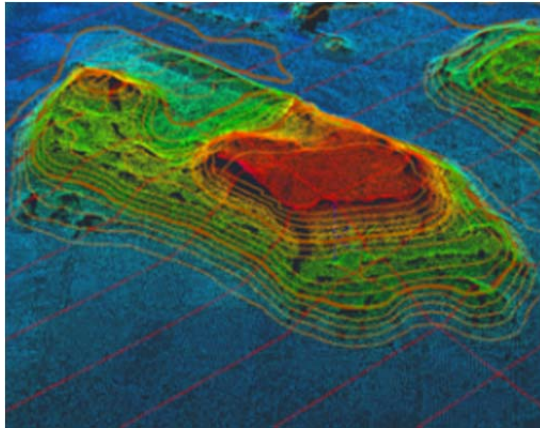
Erstellung von hochpräzisen 3D Modellen aus Luftbildern mit Konsumerdrohnen (Leicht-UAV)

Von der Spielzeugdrohne zum „Flying Surveyor“ - ein Erfahrungsbericht

Helmut und Michael WENNINGER

CADdy Geomatics GmbH München · hw@wenninger.de

3D Modelle aus Fotos generieren



Die Idee mit Leichtbaudrohnen Vermessungsaufgaben zu verrichten ist nicht neu, allerdings war es in der Vergangenheit nicht oder nur schwer möglich damit verlässliche Ergebnisse, sprich exakte Koordinaten zu bekommen. Seit ca. 2 Jahren hat sich Sachlage deutlich verändert. Neue Flugtechniken, neue Flugprozessoren, CPU gesteuerte Akkus, veränderte Flugplannungen und vor allem, und das ist das entscheidende Kriterium – neue Aufnahmesysteme haben die UAV Welt in kürzester Zeit auf den Kopf gestellt.

Zum besseren Verständnis – legen wir uns ein paar Begriffe und Vorgehensweisen zurecht.

Aktuell ein populärer Begriff ist „Flying Surveyor“ > „fliegender Vermesser“.
Was ist damit gemeint?

Es handelt sich dabei um einen Workflow – von der Luftaufnahme aus niedriger Höhe (<100m) bis zum fertigen 3-Modell und Orthophoto. Ziel dieses „Workflows“ ist es hochgenaue Messergebnisse im cm und mm Bereich zu bekommen. Viele Vorgaben sind dabei zu berücksichtigen, wir haben Sie zusammengefasst

Der Workflow



im Workflow „Flying Surveyor“ und bieten diesen Arbeitsablauf inclusive einer geeigneten Drohne auch in unseren Seminaren an. Aktuell haben davon fast 200 Teilnehmer Gebrauch gemacht.






Ein Schwerpunkt in der Ausbildung ist natürlich die rechtlichen Grundlagen die in den EU Ländern, ja in den einzelnen Bundesländern total unterschiedlich geregelt sind. Die rechtlichen Grundlagen haben auch einen großen Einfluss auf den Arbeitsprozess. Es leuchtet ein das ein Flugverbot über bebautem Gebiet eine ganz andere Strategie benötigt, wie wenn ich alles überfliegen darf.

Aber der Reihe nach: Zuerst wollen wir einen Prozess entwickeln der ein hochgenaues Ergebnis liefert, wenn möglich im cm Bereich und bei Bedarf darunter. Dazu brauchen wir wieder grundlegendes Verständnis was eigentlich wichtig ist.

Das Fluggerät

Drohnen, UAVs oder Flächenflügler - gemeint ist immer das Gleiche. Schlussendlich handelt es sich dabei immer um ein Modellflugzeug, welches ein Vermessungsgerät in eine günstige Position, also einen optimalen Aufnahmeort bringt. Welches Vermessungssystem das ist, z.B. eine Kamera, ein Scanner oder ein Wärmesensor, spielt eine untergeordnete Rolle.

	 Industrially produced multirotor – Phantom 4 pro	 Drones assembled from parts	 Fixed-wings
PLUS	Einfach zu verwenden Zuverlässig Handlich Sicher Kleinere Projektbereiche möglich im komplexen Gelände einsetzbar Hochwertiger Gimbal GPS integriert (EXIF-Header) Günstig (1500 EUR)	Mehrere Sensoren können verwendet werden Anpassbar	Für große Flächen Lange Flugzeit
MINUS	Fest verbaute Kamera	Schwierig zu verwenden Teile können fehlerhaft funktionieren Teuer (15000+ EUR)	Schwierig zu verwenden Kein Senkrechtstart Lange Flugvorbereitungszeit Ineffizienter Flug Keine Schrägaufnahmen Kurze Lebensdauer Teuer(30000+ EUR)
ERGEBIS	<u>Optimale Vermessungslösung</u>	<u>Gut für spezielle Aufgaben</u>	<u>Gut für große Gebiete (>10 km²)</u> <u>Zu teuer für die meisten Anwendungsfälle</u>

Es liegt also auf der Hand, darüber nachzudenken, welches Fluggerät man wirklich braucht und warum es solche Unterschiede in den Beschaffungskosten gibt. Sind Flugsysteme so viel schlechter, wenn Sie nur in der Kategorie 1.000-5.000 € liegen oder benötigt man wirklich einen 40.000 € Brummer, um seine Vermessung durchzuführen?

Moderne Sensortechnik egal ob GNSS RTK GPS, Scanner, Totalstation oder der **Fotoapparat** haben immer ein Ziel -> „einfacher messen“. Das mag nicht jedem Vermessungsfachmann passen, weil er sich in seiner Einmaligkeit bedroht fühlt, die Entwicklung wird aber immer auf dieses Ziel hinarbeiten um einen größeren Markt zu bekommen.

Etwas komplexer wird es wirklich bei unserem heutigen Thema der Photovermessung. Bereits 1997 hat es ein Fotoauswertesystem "CADdy PhotoCAD" gegeben, das für die Vermessung von Gebäuden oder Gelände sehr erfolgreich eingesetzt wurde. Auch damals war die Anordnung der Bilder schon ausschlaggebend für die Ergebnisse. Es lag also auf der Hand, die "Fotovermessung" wiederzubeleben nachdem viele neue Sensorik und Algorithmen auf den Markt gekommen sind und diese für den professionellen Einsatz von Drohnen aufzubereiten.

Die Vorteile dieser Messmethodik liegen auf der Hand. Unzugängliche Stellen können problemlos erreicht werden, der Baustellenablauf wird nur wenig gestört, der Zeitbedarf sowohl im Außendienst wie im Innendienst wird geringer und das Mess-ergebnis ist in der Regel feinmaschiger und genauer. Zu guter Letzt wird auch die Dokumentation wesentlich anschaulicher und nachvollziehbarer.

Zuerst sollten wir uns klar machen, was wir erreichen möchten, was das Ziel der Vermessung mit dem Fotoapparat ist. Erst dann suchen wir das geeignete "Stativ" oder den richtigen "Prismenstab", denn um nichts anderes handelt es sich bei einem Fluggerät. Es bringt nur das Vermessungssystem in die richtige Position. Und das Vermessungsgerät ist in diesem Fall der Fotoapparat. Das Stativ ist die Drohne.

Um einen handelsüblichen Fotoapparat zu einem wirklich guten Vermessungssystem zu machen, hat es in den letzten Jahren eine Entwicklung gegeben, die man aus Sicht von Anwender und auch Softwareentwicklern nur als sensationell beschreiben kann. Der Motor dieser Entwicklung war sicher die Film- und auch Autoindustrie, die uns Algorithmen für die Gesichts-, Verkehrszeichen- oder Strukturerkennung geliefert hat und des Weiteren interessante Möglichkeiten, Texturen zu verarbeiten. Auch das Hawk-Eye aus Tennis- und Fußball ist schlussendlich aus dieser Entwicklung hervorgegangen. Es wurden Methoden entwickelt, die in unterschiedlichen Bildern gemeinsame Strukturen und Pixel erkennen und daraus über die Methoden der Fotogrammetrie 3D Modelle errechnen können oder Objekte automatisch erkennen. Das Ergebnis steht klassischen Scanner aufnahmen in nichts nach bzw. ist in manchen Fällen sogar besser. Zuerst war natürlich das Ziel, die neue Branche der 3D-Drucker zu füttern, aber bald hat sich daraus ein neues Vermessungssystem entwickelt.

Ein weiterer wichtiger Meilenstein war die Entwicklung von sogenannten miniaturisierten Gyrosensoren. Damit werden kleinste Lageänderungen in Abweichung zur Waagrechten und Senkrechten gemessen. Diese finden sowohl im Fluggerät selbst als auch in der Kameraaufhängung Verwendung und machen das Fluggerät für jedermann steuerbar. Die Kamera wird dabei in optimaler Position gehalten.

Die Anforderungen

Im nächsten Schritt untersuchen wir, welche Komponenten ein solches System überhaupt nutzt, um zum gewünschten Ergebnis zu kommen.

Was braucht ein "Flying-Surveyor-System" für ein gutes Ergebnis:

- ein Fluggerät, das die Kamera in die gewünschte Position bringt
- eine Kamera, die Aufnahmen in vernünftiger Qualität liefert
- Software die die Drohne optimal und automatisch zu den Aufnahmepunkten steuert
- eine Software, die Aufnahmen zu einem 3D Modell zusammenbaut
- eine Software, die das 3D-Modell in handelsübliche Formate ausgibt
- eine Software, die diese Formate verarbeiten kann und für unsere GIS/CAD bereitstellt
- und das Wissen, wie man diese Schritte machen kann und wo man die Werkzeuge bekommt.

Alle Systemkomponenten gibt es heute zu fairen Preisen und Nutzungsbestimmungen, teilweise sogar als Freeware oder Open-Source-Software. Leider gibt es diese Komponenten nicht bei den üblichen Drohnenanbietern, da diese meist einen ganz anderen Markt bedient haben.



Kommen wir zum Fluggerät > dem UAV (unmanned area vehicle)

Hier gibt es eine Reihe von Angeboten, die sich technisch erheblich unterscheiden. War früher der Helikopter das Maß aller Dinge um eine Kamera ruhig in der Luft zu halten, so hat sich in der Zwischenzeit der Kopter durchgesetzt. Ob man dabei die Grundvariante mit 4 Propellern (Quadrocopter) oder bis zu 8 Propellern (Octokopter) nutzt, ist eigentlich nebensächlich. Auch hier gilt wieder der Grundsatz der

Zweckmäßigkeit. Je höher das Traggewicht, also die Nutzlast, ist, umso mehr Propeller und Energie (Strom, Akkus) braucht man. Grundsätzlich spricht dies für Quadrocopter, aber natürlich gibt es auch Argumente für mehrrotorige Geräte, wie zum Beispiel die Ausfallsicherheit, wenn ein Motordefekt auftritt. Ein sehr wichtiges Thema, wenn man an die neue europäische Grundverordnung zum Drohneneinsatz denkt.

Zuerst denkt man, das Gerät muss groß, schwer und leistungsstark sein, um eine professionelle Kamera zu tragen. Das stimmt aber nur bedingt, im Gegenteil schwere Geräte haben eher Nachteile gegenüber leichten schnellen Geräten. Das Fluggerät muss sicher, verlässlich und leicht sein und wenig Energie verbrauchen, damit lange Flugzeiten möglich sind. Kameras sind heute per se nicht mehr schwer, außer es handelt sich um Sondergeräte, wie z.B. Scanner oder 3D-Kameras.

Wichtiger ist die Softwareausstattung, der Bordcomputer, das Bord-GPS und die verwendete Kamera. Natürlich bestimmt auch bei diesen Komponenten der Einsatzzweck die notwendige Ausstattung. Wir haben viele Versuche mit Mittelklassedrohnen in der Kategorie 1500 - 5.000 € durchgeführt und sind zu dem Ergebnis gekommen, dass diese Drohnen sehr gut für den Vermessungseinsatz geeignet sind.

Auch wir haben bei unseren ersten Versuchen große und schwere Drohnen genutzt und viel Lehrgeld bezahlt.

Heute gibt es mehrere Anbieter, die schnelle Fluggeräte mit ausgezeichneter fest eingebauter Optik oder Wechselkameras anbieten. Sie sind einfach zu fliegen, extrem widerstandsfähig und sehr ausgereift mit garantierten Eigenschaften. Es gibt eine kritische öffentliche Community, die ungenügende Eigenschaften und überhöhte Preise sofort an den Pranger stellt und Nachbesserungen fordert. Diese Drohnen werden nicht Einzeln gefertigt, sondern in Auflagen von Millionen gebaut. Entsprechend anders ist der industrielle Ansatz.

Nehmen wir zum Beispiel die Phantom 4. Oder die Inspire 2 von DJI.



Wir sind nicht unbedingt glücklich, dass es eine Drohne aus China ist, aber der technische Vorsprung ist nicht von der Hand zu weisen und niemand kann ihn wegdiskutieren, auch wenn die Konkurrenz nicht schläft, aber das Tempo der Entwicklung ist immens. Die aktuell neueste Entwicklung liefert sogar eine Korrekturdatenfähige RTK Ausrüstung unter 6000 € mit cm Genauigkeit.



Wir haben ausführliche Test mit mehreren Geräten durchgeführt und sehen keine Fluggeräte (auch bei den wesentlich teureren und schwereren Geräten), die technisch mithalten können. Aufgrund folgender Eigenschaften arbeiten wir sehr gerne mit dieser Technik:

- Fluggewicht deutlich unter 2kg. Damit ist nicht einmal ein Kenntnisnachweis notwendig und eine Aufstiegsgenehmigung notwendig (was wir eigentlich nicht gut finden)
- hervorragender Giro und IMU (Intertialmesseinheit) steuert und stabilisiert das Fluggerät auch bei extremen Flugbewegungen und Wind (1° Winkelgenauigkeit) erlaubt Messflüge bis zu 50 km/h Windgeschwindigkeiten
- unabhängiger Kameragiro der neuesten Generation (stabilisiert die Kameraposition auch bei stärkeren Wind- und Flugbewegungen superschnell)
- hochgenauer Barometer (misst bis zu 10cm Höhenbewegungen) für den indoor Flug
- extrem schnell bis zu 78 km/h im Sportmodus, und damit schneller wie viele Flügeldrohnen und liefert bis zu 1000 Aufnahmen mit einem Akku. Das reicht für Fluggebiet bis zu 50 ha.
- integrierte Kamera mit 20 MP und einem 1° Sensor. Die Optik ist vorkalibriert und damit von Haus aus sehr verzeichnungsfrei, kann aber über ein Passpunktfeld auch nachkalibriert werden.
- Die Akkus sind computergesteuert und für lange Flugzeiten (bis zu 30 Minuten) ausgelegt und für kurze Ladezeiten
- GPS-System zur Positionsstabilisierung und für die Georeferenzierung der Aufnahmen (ca. 1-3 m vor der Bündelblockausgleichung) und im 1-3 cm Bereich bei der RTK Ausführung.
- hohe Reichweite der Fernsteuerung (bis zu 3,5 km)



- Smartphone und Tablet Unterstützung für die Flugplanung
- FPV (Flight Pilot View) auf dem Tablet kann man durch die Kamera schauen
- Viele verschiedene Flugmodi möglich (Pilotview, Tabview, Followme, Orbit, Waypoint mode, Flächenflug, 3D Flug, Fassadenflug etc.)
- Viele kostenlose Apps für die einfache Wegpunktsteuerung mit Übergabe während des Fluges optimiert für senkrecht (Fläche) oder Schrägaufnahmen (Objektvermessung) oder Inspektionsflüge
- unterschiedliche Steuermodi (programmable, sport und Attitude)
- USB Anschluss für die Konfiguration und Programmierung des Bordcomputers
- einfache Justagemöglichkeit für den Kompass und die IMU (extrem wichtig für eine verlässliche Flugsteuerung)
- Kollisionsschutz durch eingebaute Lidar und Ultraschallsensoren (vorne, rückwärts und seitwärts und nach unten.
- Geeignet für out- und indoor Flüge
- Transportabel auch als Handgepäck für Auslandseinsätze

Diese Eigenschaften sind wie schon gesagt super und schon konkurrenzlos aber was diese Konsumerdrohne wirklich so interessant macht ist die verbaute Kamera.

Die Kamera

In der Vergangenheit war die Kamera die "Mutter der Genauigkeit". Diese Rolle ist etwas aufgeweicht worden, durch die neuen Bilderkennungsverfahren und Kamerasysteme. Das mag auch der geringen Auflösung und mangelnder Qualität der Objektive und der CCD-Sensoren geschuldet gewesen sein. Heute haben sogar Handys eine Qualität, die Topergebnisse in der 3D-Auswertung liefern. Die Qualität des Ergebnisses wird vielmehr von der Anzahl der Aufnahmen und der Position der Aufnahmen beeinflusst als von der Pixelanzahl.

Natürlich hat die Qualität des Objektivs immer noch einen sehr großen Einfluss auf die Schärfe und dass damit erzeugte Ergebnis. Der viel größere Einfluss kommt von der Art der Speicherung. Normale CMOS Technik speichert die Bilder zeilenweise und ist damit für

Global Shutter

- Alle Pixel werden gleichzeitig aufgenommen



Rolling Shutter

- Es werden Reihen nach einander aufgezeichnet
- Bewegung verursacht Verzerrung



Aufnahmen mit großer Geschwindigkeit ungeeignet. Wir sprechen von Rollingshuttereffekten. Ein Kreis wird zu Ellipse. Das heißt wir müssen für die Aufnahme stehenbleiben oder die Bilder rückrechnen. Wir bauen also bewusst Fehlerquellen ein. Wenn wir also schnell fliegen wollen und größere Gebiete vermessen und das Potential der Drohne nutzen wollen brauchen wir eine andere Technik.

Der Global Shutter

Sowohl die Phantom ab der Serie 4, als auch die Inspirekameras verwenden diese Speichertechnik und rutschen damit in die Königsklasse der Drohnenvermessungskameras.

Darüber hinaus gibt es natürlich auch andere technische Verbesserungen die elektronische Kameras für die Bildauswertung interessant machen. Bessere und größere Sensoren, die Planlage spielt keine Rolle mehr und auch Neuberechnete Optiken machen die Ergebnisse attraktiv.

Für das oben genannte Fluggerät wird eine integrierte 20-Megapixel-Kamera verwendet, damit wird eine 4k Auflösung (4fach HD) geliefert. Diese 20 Megapixel werden vom Gesamtbild ausgeschnitten. Damit wird die Randunschärfe praktisch weggeschnitten. Über die Fernbedienung kann man verschiedene Auflösungen und Farbmodi während des Fluges einstellen, sich also den Gegebenheiten (wolkig, sonnig) anpassen. Beim Speichern der Bilder werden die Aufnahmepositionen im WGS84 Format in den Header des Bildes geschrieben (Exif Header). Die Koordinate hat nur A-GPS Genauigkeit das bedeutet 2-3 m Genauigkeit.



Die Aufhängevorrichtung - das Gimbal

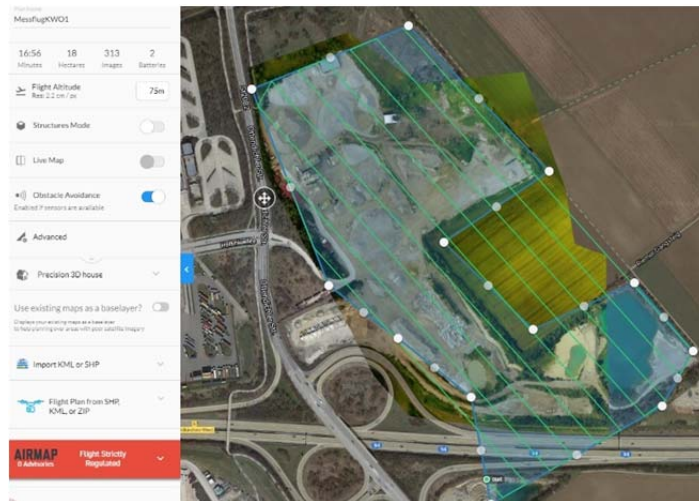
Auch das Gimbal (der Flugtheodolit) ist essentiell für die Genauigkeit und sorgt für ein ruhiges Bild und eine immer sauber ausgerichtete Kamera, vor allem natürlich für exakte Senkrechtaufnahmen. In diesem Bereich hat sich in der Entwicklung am meisten getan, moderne Gimbals arbeiten mit Winkelgenauigkeiten von 1". Die tollen Ergebnisse, die man heute erreicht, sind vor allem auf Gimbals und Inertialmesssysteme (IMU's) zurückzuführen, die schnell die Bewegungen der Drohne ausgleichen. Ein kleines Giro sorgt dafür, dass die Kamera unabhängig von der Luftbewegung des Fluggerätes sauber ausgerichtet und vor allem ruhig bleibt. Auch diese 3-6 Achsenkompensatoren sind heute Massenware geworden, dank eines anspruchsvollen Modellbaus und einer neuen Bewegung in der Filmindustrie, nämlich Luftaufnahmen zu machen, also einen Blick von oben - dem sogenannten "Birdview" zu ermöglichen. Kaum eine Filmproduktion kommt mehr ohne diesen "Birdview" aus. Uns soll es recht sein, bekommen wir doch so ruhige, rauscharme Aufnahmen mit einfachen, leichten Kameras hin.

Die Flugplanungssoftware

Auch in diesem Sektor war die Entwicklung der letzten 24 Monate atemberaubend. Heute gibt es über 10 verschiedene Apps für die Flugplanung auf Android oder iOS- Geräten. Viele davon haben eine Bedienoberfläche auch auf dem Browser und



können damit am Desktop, Tablet oder Smartphone abgerufen werden. So können die Planungen in der Cloud verwaltet und überall mitgenommen oder auch geteilt werden. Je nach Aufgabe wählt man die am besten geeignete App aus und plant auf dem Tablet oder Smartphone seinen Flug.



Die 3D Software

Kaum eine andere Marktentwicklung der letzten Jahre ist für die Ermittlung solcher Ergebnisse aus einfachen Fotos so verantwortlich, wie der Softwarebereich. Nirgends hat es einen derartigen Quantensprung gegeben. Hier hat uns die Film- und Autoindustrie einen Entwicklungsschub beschert, der aus vielen Fotoaufnahmen eines Gegenstandes oder eines Geländes ein echtes 3D-Modell berechnet. Neben den photogrammetrischen Algorithmen, spielen dabei auch OCR-, also Bilderkennungsalgorithmen eine große Rolle. Mehrere Anbieter streiten sich dabei um die Führerschaft. Im Rahmen der Ausbildung zum Flying Surveyor haben sich eine Reihe von Produkten und auch 3D Diensten herauskristallisiert, die allesamt gute Ergebnisse liefern, aber unterschiedliche Vorgehensweisen bzw. Arbeitstechniken implizieren.

Auswertedienste

Neben fertigen Softwaretools gibt es auch eine Reihe von Anbietern von Diensten, die die Modellierung zu einem 3D Modell oder Orthophoto übernehmen.

Diese Internetdienste ermöglichen den Upload von Bildern und liefern einige Stunden später ein fertiges 3D Modell ab. Dabei gibt es einfache Dienste die hauptsächlich im Modellbau und Architekturbereich zuhause sind (z.B. 123d catch von Autodesk), aber auch komplexe Dienste die auf Geländeaufnahmen und landwirtschaftliche Auswertungen spezialisiert sind wie Dronedeploy und Altizure. Beide liefern eine kostenlose Flugplanung, sind aber in der Auswertung relativ teuer.

Welche Genauigkeiten sind erreichbar und realistisch

Als Richtschnur für die erreichbare Genauigkeit mit Konsumerdrohnen der Art der DJI Phantom4 kann man sagen, dass bei einer Flughöhe von 30-40 m 1-2 cm-Genauigkeit erreicht werden kann. Bei einer Überdeckung von 75% in Längs- und Querrichtung, erreicht man ca. 400 Aufnahmen. Das entspricht einer Fläche von 500 x 500 m, also schon eine

ordentliche Grube, Kieswerk bzw. Deponie. Mit entsprechender Flughöhe wird die Fläche größer aber die Genauigkeit auch schlechter.

Die Georeferenzierung

Oft reicht ein lokales Modell für eine Auswertung oder Massenermittlung, aber meist ist eine exakte Georeferenzierung notwendig bzw. sinnvoll. Dafür gibt es in den Desktopprodukten entsprechende Funktionen. Erst nach der Georeferenzierung lassen sich exakte Massen und Mengen ermitteln. Wir empfehlen heute eine Passpunktdichte von ca. 100m sowie eine Hoch-Tiefverteilung. Damit wird das Modell praktisch kalibriert. Im Falle von RTK gesteuerten Drohnen sind zwar die Ergebnisse in sich schon genauer, um eine Kalibrierung kommt man trotzdem nicht herum, wenn man exakte Ergebnisse haben möchte, allerdings benötigt man wesentlich weniger Passpunkte.

Die Ergebnisse

Aktuell bekommt man Ergebnisse die der klassischen Gelände- oder Scanneraufnahme in nichts nachstehen, oder teilweise deutlich überlegen ist. Eine gute 3D Aufnahme liefert je nach verwendeter Auflösung bis zu 250 Millionen Punkte. Das wiederum lässt sich mit geeigneten Tools wieder auf ein verwertbares Maß rechnen, ohne Genauigkeitsverluste hinnehmen zu müssen.

Vermessungsorientierte 3D Berechnungen liefern sowohl exakte Massen, Profile und Schnitte als auch Höhenlinien, rechnen aber auch ungewünschte Objekte wie Bewuchs, Gebäude, Baumaschinen aus dem Bestand heraus. Je nach Bedarf lässt sich das Ergebnis steuern. Sollte das 3DProgramm auch Digitalisierungsfunktionen beherrschen ist der 3dimensionalen Objekterfassung kein Problem mehr.

Übergabe an klassische CAD und GIS

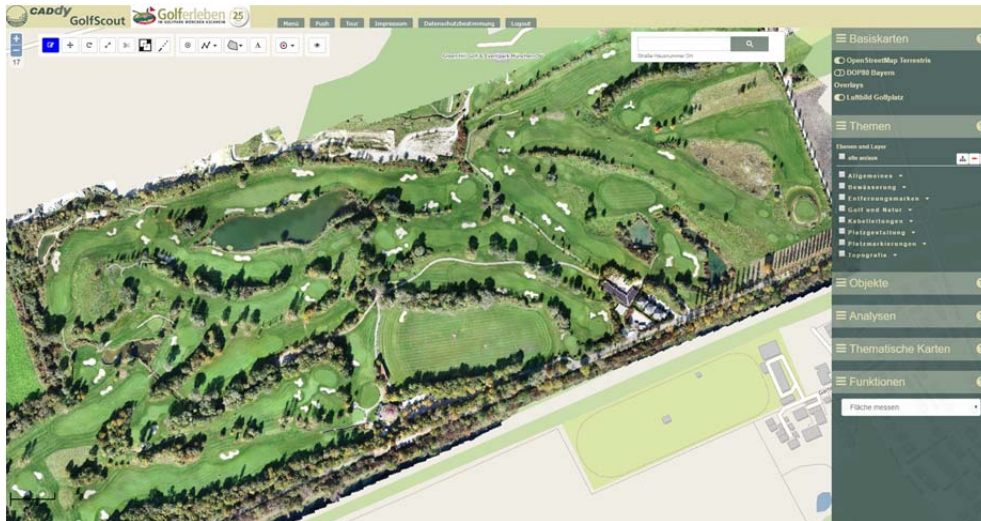
In der Regel erfolgt die Weiterverarbeitung notwendig sein, kommt man um professionelle Produkte wie CADDy Classic oder AutoCAD Civil 3D nicht herum. Hier lassen sich problemlos Längs- und Querprofile nach den üblichen Verfahren erstellen und die Massen z.B. über die Prismenmethode oder über Elling ermitteln.

Zusammenfassend

kann gesagt werden, dass das Ergebnis dieses Feldversuches weit positiver war als zunächst erwartet wurde.

Lassen Sie mich anhand von einer praktischen Arbeit das Kosten Nutzenverhältnis einmal zusammenstellen. Für ein Gelände von der Ausdehnung 1400 x, 500 m (exakt 64,2 ha – in diesem Fall eine Golfplatzvermessung mit Zielgenauigkeit 2 cm fürs Gelände) wurde eine Flugzeit von 2 Akkuladungen (ca. 50 min. Nettoflugzeit) benötigt. Die Auswertzeit beträgt ca. 5-6 Stunden. Die Datenerfassung (3D Nach-zeichnen der Golfplatzmöblierung (Leitungen, Wege, Gewässer, Baumhöhen, Abschlagspunkte und Entfernungsmarken etc.) weitere 8 Stunden.

Die erreichte Genauigkeit ist ca. 2 cm für das gesamte Gelände. Für die Grüns war für die Neigungskarten eine höhere Genauigkeit gewünscht, daher wurden diese nochmals getrennt kleinräumig befliegen.



Die Genauigkeit der Ergebnisse hängt in erster Linie von der Messanordnung (Passpunkte, Bildanordnung und Fluggeschwindigkeit), aber auch von der Auswertesoftware und den verwendeten Bilderkennungsalgorithmen ab, also auch hier wieder ein Punkt für eine gute Ausbildung des Piloten. Auch ein Argument ist die Vollständigkeit der Feldaufnahmen. Ein Vergessen gibt es nicht mehr. Auch nach Jahren kann ich jeden Punkt im Gelände rekonstruieren und nochmal „vermessen“.

Positiv ist auch das Kosten-Nutzenverhältnis. Bei Preisen von 1000-2000 € für die Drohnentechnik bzw. 6000 € für die RTK Ausführung macht es sogar Sinn für unterschiedliche Aufgaben (Scannermessung, Wärmebildkameras, Gebäudeerfassung) mehrere Drohnen einzusetzen. Auch bei einem Absturz sind die Reparaturkosten ein Vielfaches günstiger wie bei den großen „Lasteseln“.

Zu guter Letzt kommt noch ein neues Argument für die Zukunft hinzu. Ein weiterer Faktor ist die geringe Risikoeinschätzung für diesen Drohnentyp. Das spielt vor allem für die Zukunft eine große Rolle. Wenn das neue europäische Drohnenrecht greift. Trotz allem Positiven dieser neuen Technik „spielend vermessen“ hat aber die Erfahrung gezeigt, dass auch diese Technik getestet und „gezeigt“ werden muss. Eine gute Ausbildung erspart eine Menge an Fehlern und spart bares Geld.