Ing. Dr. Wolfgang Pfeffer
Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger, Wien
Ing. Clemens Pfeiffer
Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger, Wien

Digitale Luftbilder aus unterschiedlichen Perspektiven mit dem Multicopter

(Nutzung für Planvorlagen, Skizzenersatz, Seitenansichten von Gebäuden in beliebiger Höhe usw)

Für Sachverständige vieler Fachgebiete stellt die Fotografie von Geländeflächen, Spuren bzw Objekten aus der Luft eine vorzügliche Methode zur Gewinnung genauer Informationen für den Befund bzw für die Ausarbeitung von maßstabsgetreuen Plänen dar. Während sich bisherige Versuche zur Anfertigung von Luftbildern mit Ballons, Luftschiffen oder konventionellen Modellflugzeugen in der Praxis nicht durchsetzen konnten, steht mit der Entwicklung von sogenannten Mehrrotorenhubschraubern (Multicopter) nunmehr eine vielversprechende neue Technologie zur Verfügung. Die Autoren haben in Zusammenarbeit mit einem Hersteller von Multicoptern ein auf die speziellen Erfordernisse des Sachverständigen für Unfallanalysen abgestimmtes Fluggerät entwickelt, das sich im Praxiseinsatz bestens bewährt hat. Im folgenden Artikel sollen ausgehend von den Grundlagen dieser neuen Technologie die Einsatzmöglichkeiten anhand von Beispielen dargestellt werden.

1. Entwicklung der Luftbildfotografie für sachverständige Anwendungen

Sowohl im Bau- und Vermessungswesen als auch im Bereich der Verkehrsunfallanalyse hat es in der Vergangenheit zahlreiche Versuche zur Anfertigung von Fotos aus der Luft gegeben. Bereits in den 1960er-Jahren experimentierten einige Sachverständige mit heliumgefüllten Fesselballons, an deren Unterseite eine mit einem Selbstauslöser versehene Kamera montiert war. Der Einsatz derartiger Ballons scheiterte in der Praxis nicht nur an der Windempfindlichkeit, sondern – und vor allem – an der umständlichen Handhabung. Große Ballonvolumina waren zur Anhebung der relativ großen Nutzlast einer Fotokamera erforderlich.

Eine neue vielversprechende Technik stellte die Entwicklung von Teleskopmasten dar. Dazu wird an der Spitze eine Kamera mit Fernauslöser montiert. Mit dieser Methode können grundsätzlich sehr genaue, hochwertige Senkrechtfotos angefertigt werden. Der große Nachteil der Mastfotografie liegt in der begrenzten Höhe (bis etwa 14 m), in der aufwendigen Manipulation und in der Blockierung von Straßen- bzw Geländebereichen. Letztlich hat sich diese Methode weder in der Bautechnik noch in der Unfallaufnahme in einem breiteren Umfang durchsetzen können.

Schließlich gab es in den letzten Jahren immer wieder Versuche, konventionelle ferngesteuerte Modellhubschrauber mit Kameras auszurüsten und für die Erstellung von Luftaufnahmen einzusetzen. Der Nachteil dieser Technik liegt vor allem im Gefährdungspotenzial aufgrund der – erforderlichen – großen Rotorblätter. Außerdem ist die Steuerung äußerst schwierig zu erlernen und die Kosten sind bei professionellen Geräten sehr hoch.

Das Ziel aller Bemühungen im Zusammenhang mit Luftbildaufnahmen liegt darin, möglichst scharfe Fotos hoher Qualität und Auflösung aus verschiedenen (Luft-)Perspektiven zu erstellen. Die für den Sachverständigen interessante Aufnahmeperspektive ist dabei vor allem die Draufsicht, bei der die Kameraebene parallel zur Erdoberfläche ausgerichtet ist. Die zweite wichtige Perspektive stellt die Horizontalausrichtung dar: Hier wird die Kameraebene am Fluggerät in einem 90°-Winkel zur Erdoberfläche gehalten, um vertikal verlaufende Objekte (zB Fassaden, Bauwerke) fotografieren zu können. Bei der sogenannten Schrägaufnahme befindet sich die Kamera in einem Winkel von etwa 30 bis 60° zur Horizontalen. Solche Aufnahmen dienen der Anfertigung von Übersichtspanoramen oder zur Videodokumentation. Zur Stereoskopie und für quantitative Auswertungen werden ausschließlich Senkrechtaufnahmen verwendet. Die Vorteile von Luftbildaufnahmen gegenüber Satellitenfotos liegen vor allem in der wesentlich höheren Auflösung (Satellit: zirka 1 m/Pixel; klassisches Luftbild: zirka 0,1 m/Pixel, Multicopter-Senkrechtfoto: bis zu 0,05 m/Pixel). Zudem stellt sich das Problem der Abdeckung durch eine Wolkendecke nicht.

Bei einem **Orthofoto** handelt es sich um eine Abbildung, die eine möglichst verzerrungsfreie und maßstabsgetreue Fotografie der Erdoberfläche liefert. Bei der Aufnahme entstehen Verzerrungen durch Abweichungen der Parallelität zwischen Kameraebene und der Erdoberfläche durch

die Zentralprojektion sowie durch die Höhenunterschiede des Geländes. Wenn die Kameraebene durch eine zweiachsige Gierregelung automatisch parallel gehalten wird, entstehen in der Praxis nur sehr geringe Verzerrungseffekte. Einfache Entzerrungssysteme können mit geringem Aufwand – ohne der Notwendigkeit eines Geländemodells – diese Daten ausreichend genau korrigieren. Bei der Betrachtung einzelner Fotos tritt damit nur mehr eine geringe, meist vernachlässigbare Verzerrung auf. Einzelfotos können mit entsprechenden Bildbearbeitungsprogrammen zu größeren Flächenabbildungen zusammengeschlossen werden, wobei sich durch die Restverzerrung gewisse Grenzen ergeben.

2. Aufbau und Funktion des Multicopters

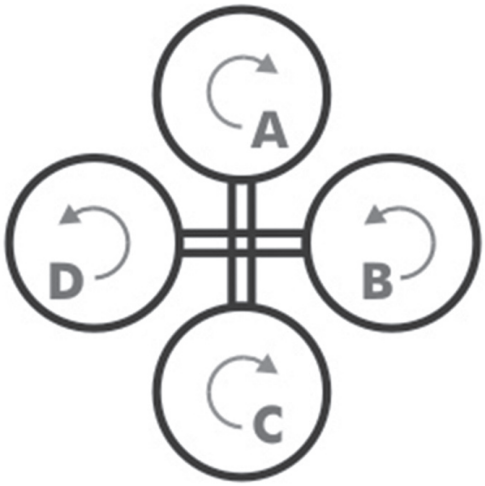
Ein **Multicopter** unterscheidet sich von einem konventionellen Hubschrauber dadurch, dass die Richtungssteuerung nicht über die aktive (mechanische) Neigung der Hauptrotorachse, sondern alleine durch Drehzahländerungen einzelner Rotoren erfolgt. Damit entfallen aufwendige und fehleranfällige Taumelscheiben oder andere mechanische Komponenten. Auch entsteht keine Drift wie bei der Heckrotorkonfiguration. Bei der Steuerung treten kaum asymmetrische Artefakte aus Kreiseleffekten des Rotors auf. Multicopter sind insgesamt also stabiler im Flug als Hubschrauber. Sie werden deshalb oft auch als „Schwebeplattform“ oder „Drohnen“ bezeichnet.

Für die Realisierung einer Dreiachssteuerung sind mindestens vier unabhängige Rotoren erforderlich (wobei die Zahl nach oben hin grundsätzlich nicht begrenzt ist). Der Drehmomentausgleich erfolgt durch die gleiche Anzahl gegenläufiger Rotoren.

Eine Untertype des Multicopters stellt der **Quadrocopter** dar. Er wird über vier – in der Form eines Vierecks angebrachte – Rotoren angetrieben und gesteuert. Alle drei Achsen können durch Steuerung der Drehzahlen der vier Propeller gezielt gesteuert werden.

Erste Versuche mit Quadrocoptern hat es bereits in den 1960er-Jahren gegeben. Die Entwicklung leistungsstarker (und leichter) Lithium-Polymer-Akkus, zuverlässiger bürstenloser Elektromotoren sowie leistungsstarker Flugsoftware waren die wesentlichen Entwicklungsschritte. So wurde die Realisierung elektrisch angetriebener Multicopter als Modellflieger möglich. Diese Technik wurde in Deutschland im Jahr 2005 im Spielzeugbereich wieder aufgegriffen und das erste Fluggerät (das sogenannte „X-Ufo“ von der Firma Silverlit) auf den Markt gebracht. Weitere Entwicklungen im Spielzeugbereich folgten. Daraus entstanden zuverlässige und robuste professionelle Fluggeräte, die heute vorwiegend im militärischen Bereich als „Minidrohnen“ Verwendung finden.

Ein (prinzipiell beliebiger) Arm des Quadrocopters stellt für den Piloten die Front dar. Zur besseren Erkennbarkeit ist der Frontrotor und der Frontausleger farbig markiert. Beim Abheben wird die Drehzahl aller vier Rotoren gleichzeitig erhöht, wodurch es zu einer reinen Vertikalbewegung in Richtung Himmel kommt.



Mittels Kippens um die Querachse (als „Nicken“ bezeichnet) kann das Fluggerät in Längsrichtung beschleunigt werden. Erreicht wird dieses Nicken durch eine gezielte Veränderung des Schubes (Drehzahl) des vorderen und des hinteren Rotors (Rotor A und C).

Durch Kippen um die Längsachse (Rollen) kann der Copter seitlich bewegt werden. Dazu wird das Schubverhältnis zwischen linkem und rechtem Rotor verändert (Rotor B und D).

Das Drehen um die Hochachse (Gieren) wird letztendlich durch eine paarweise Schubänderung des Längs- und Querrotorpaares erzeugt (Rotoren A+C und B+D).

Die Stabilisierung des Quadrocopters erfolgt vollautomatisch durch die Flugsoftware. Drei Gyroskope, drei Beschleunigungssensoren und ein Luftdrucksensor liefern dem Prozessor laufend die notwendigen Informationen über wirkende Kippmomente, Höhe und Flugdynamik. Ein

Mikrocontroller errechnet nach einer ausgefeilten Software die entsprechenden Korrekturbefehle. Die Steuerung durch den Piloten erfolgt im Regelfall durch eine konventionelle Fernsteuerung aus dem Modellbau. Wahlweise kann ein GPS-Sensor verbaut werden.

Die GPS-Steuerung ermöglicht ein stabiles Schweben im Bereich einer vorgegebenen GPS-Koordinate. Somit können auch (gewisse) Windeinwirkungen äußerst effizient kompensiert werden, was sich bei der Anfertigung von Fotos als äußerst hilfreich herausgestellt hat. Weiters ermöglicht die GPS-Steuerung eine Vorgabe von Wegpunkten, die der Flieger automatisch anpeilen kann. Mit der „Coming-home-Funktion“ kehrt er anschließend automatisch wieder zum Ausgangspunkt zurück. Eine Funktion, die sich insbesondere beim Fotografieren von Autobahnabschnitten bewährt hat. Zur Beurteilung des Bildausschnitts der Kamera steht auf der Fernsteuerung ein kleiner Bildschirm zur Verfügung. Dieser zeigt laufend das Kamerasignal als Vorschaubild mittels Video-Downlinks. Die Kameraauslösung erfolgt ebenfalls über ein Funksignal direkt von der Fernsteuerung aus. In der Praxis hat sich – zur Entlastung des Piloten – eine Serienbildschaltung mit einstellbarem Zeitintervall bewährt.

Als Fotoapparat wird derzeit eine Kompaktkamera Panasonic Lumix DMC mit einer Auflösung von zirka 14 Megapixel und einem Weitwinkelobjektiv (entsprechend 24 mm bei Kleinbild) der Firma Leica verwendet. Die optimale Aufnahmehöhe liegt in einem Bereich von zirka 40 bis 100 m über Grund. Größere Fahrbahnabschnitte bzw Kreuzungen können durch das Aneinanderfügen mehrerer Einzelfotos erfasst werden.

Der Multicopter wird an der Unterseite mit lichtstarken Leuchtdioden ausgestattet. Ein sicherer Einsatz in der Dämmerung bzw bei Dunkelheit wird dadurch ermöglicht. Grenzen werden hier nur durch die – fototechnisch – erforderliche Lichtmenge gesetzt. Das Fluggerät kann nicht bei jeder Wetterlage eingesetzt werden. Bei starkem Regen und Schneefall sowie bei Windgeschwindigkeiten über etwa 25 km/h ist ein sicherer Flug nicht mehr gewährleistet. Die Steuerung des Multicopters ist relativ leicht erlernbar. Eine Einschulung und ein Training mit einem (günstigen) Übungsflieger sind aber für einen sicheren Einsatz unerlässlich.

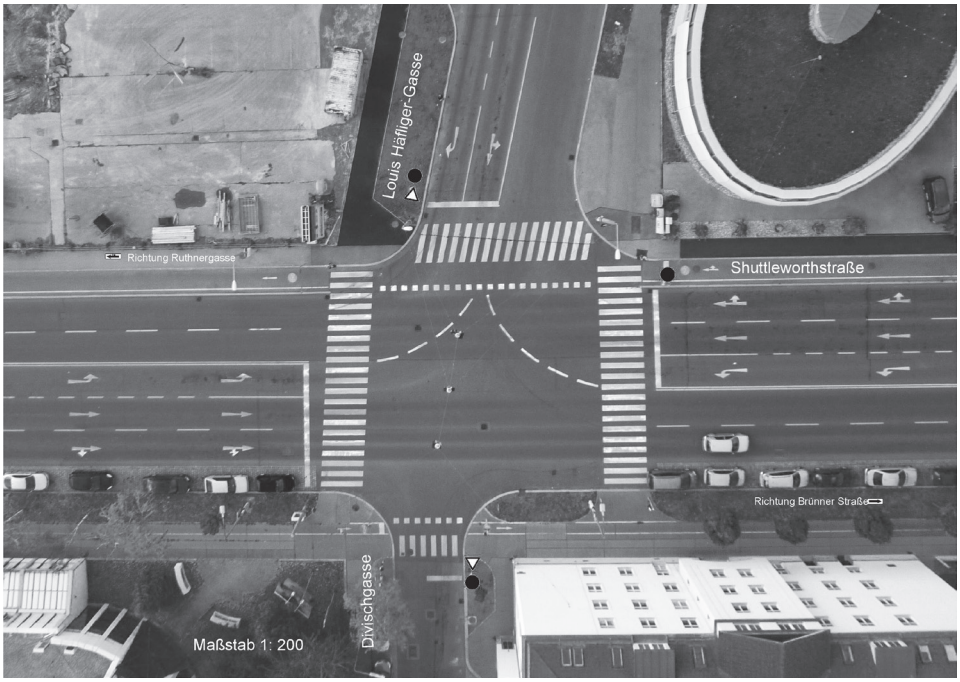
Die relativ niedrigen Kosten, das geringe Gefährdungspotenzial und die stabilen Flugeigenschaften machen einen Quadrocopter zum idealen Hilfsmittel für die vielfältigen Einsatzzwecke eines Sachverständigen.

Weitere Varianten stellen Multicopter mit sechs (Hexacopter) oder acht (Oktokopter) Rotoren dar. Deren Vorteil liegt in einer höheren Redundanz und einem etwas stabileren Flugverhalten.

3. Einsatz des Orthocopters in der Unfallaufnahme und -rekonstruktion

Für den Einsatz bei Gerichtssachverständigen wurde ein handelsüblicher Quadrocopter aufgerüstet. An der Unterseite wurde eine Kamerahalterung mit einem automatischen zweiachsigen Ausgleich angebracht. Im Hinblick auf den zentralen Einsatzzweck – der Draufsichtsfotografie – bezeichnet man dieses Fluggerät auch als „Orthocopter“.

Erste Versuche mit einer frei auspendelnden Kamerahalterung haben sich nicht bewährt. Die Kamera wurde durch die im normalen Flugbetrieb entstehenden Schwankbewegungen im Auslösemoment nicht genau genug parallel zur Erdoberfläche ausgerichtet. Nun erfolgt die Zwangssteuerung mittels zweier Servos, die die Kamera entgegengesetzt zu den gemessenen Winkeln der Giersensoren aussteuern.



Im Rahmen einer genauen und gewissenhaften Unfallaufnahme sollten Spuren, Endlagen und Straßenverlauf mit maximaler Genauigkeit aufgenommen werden. Klassische Verfahren (zB mit dem Messrad) bedeuten nicht nur einen enormen Zeitaufwand, sondern bringen auch verfahrensbedingte Toleranzen mit sich.

Mit dem Orthocopter kann die komplette Datenaufnahme in wenigen Minuten mit größtmöglicher Genauigkeit durchgeführt werden. Für eine maximale Qualität sollte eine Aufnahme mit und eine ohne der Fahrzeuge in Endstellung erfolgen, um auch eventuell überdeckte Spuren zu erfassen.

Die erstellten Senkrechtfotos können meist anstelle einer Skizze direkt als Overlay in die üblichen Rekonstruktionsprogramme (zB PC-Crash oder Analyser-Pro) importiert werden. Wie bei einer Skizze ist dafür ein (möglichst die ganze Szenerie abdeckendes) Referenzmaß erforderlich.

Naturgemäß kann die Skizze auch in beliebigem Maßstab ausgedruckt und für die Einvernahmen bei Gericht verwendet werden.

4. Der Einsatz des Orthocopters in der Bau- und Immobilienbranche

Auch in der **Bau- und Immobilienbranche** können Luftbilder (zB in Schräglage) als Hilfsmittel zur Beschreibung von Grundstücken und Gebäuden sowie zur **Baudokumentation** eingesetzt werden. Sie eröffnen eine bisher nur mit großem Aufwand erreichbare Perspektive.

Die horizontale Perspektive kann auf einfachste Weise unzugängliche Fassaden, Dächer, Türme, Figuren und andere Kunstwerke erfassen und fotografieren. Die fernsteuerbare Zoomfunktion hat sich dabei als äußerst hilfreich erwiesen.

Der Orthocopter eröffnet damit auch im Bereich der **Denkmalpflege** komplett neue Perspektiven.

Oberes Stockwerk des Kunsthistorischen Museums

5. Rechtslage für die Verwendung

In Österreich zählen Multicopter derzeit rechtlich zu den Zivilluftfahrtgeräten, die bei einem Gewicht von unter 20 kg außerhalb von Sicherheitszonen ohne Bewilligung betrieben werden dürfen. Gemäß § 3 Luftfahrtgesetz wird festgelegt, dass der Betrieb von solchen Fluggeräten nur mit Zustimmung des Bundesamtes für Zivilluftfahrt zulässig ist, wenn sie unter anderem in Höhen von 150 m über Grund, innerhalb des Schutzbereiches eines Zivilflugplatzes, über dicht besiedeltem Gebiet oder über Menschenansammlungen betrieben werden. Über nicht verbautem Gebiet darf der Multicopter derzeit ohne Bewilligung verwendet werden. Das Luftfahrtgesetz wird gerade überarbeitet. Da es für den Einsatz von Drohnen nicht ausgelegt ist, wird eine besondere Bestimmung für Minidrohnen erwartet. Als wahrscheinlich gilt, dass gewissen Personengruppen im öffentlichen Auftrag (zB Polizei, Sachverständige) der Betrieb auch im verbauten Bereich erlaubt wird.

In Deutschland regelt die Luftverkehrsordnung den Betrieb von Modellflugzeugen. In § 16 der deutschen Luftverkehrsordnung ist festgelegt, dass der Aufstieg von Flugmodellen mit einer Gesamtmasse unter 5 kg bis zu einer Entfernung von 1,5 km von der Begrenzung von Flughäfen keiner Erlaubnis bedarf.

6. Ausblick

Die Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Multicopter geht stetig und mit atemberaubender Geschwindigkeit voran. Waren es vor ein paar Jahren noch eine Handvoll Hersteller aus dem Spielzeugbereich, so drängen immer mehr Unternehmen mit immer professionelleren Produkten auf den Markt. Derzeit wichtigstes Entwicklungsthema ist die Erhöhung der Flugsicherheit. Dabei gibt es im Wesentlichen zwei Entwicklungsrichtungen: Zum einen wird die Anzahl der Rotoren erhöht, um beim Ausfall eines Rotors das Fluggerät stabil zu landen. Zum anderen werden Versuche mit kleinen Bremsfallschirmen durchgeführt, die den Flieger im Falle einer nicht mehr stabilisierbaren Fluglage vor dem unkontrollierten Absturz bewahren sollen.

Korrespondenz:

Ing. Dr. Wolfgang Pfeffer
Sachverständiger für Unfallanalyse
Lerchenfelder Straße 121/11, 1070 Wien
Internet: http://www.kfz-bewertung.at
E-Mail: dr.pfeffer@chello.at

Ing. Clemens Pfeiffer
Sachverständiger für Unfallanalyse und Fotogrammetrie
Krottenbachstraße 106/13/12, 1190 Wien
Internet: http://www.sv-board.org
E-Mail: sv.pfeiffer@aon.at