



Drohnen

Hightech in der Luft



Sie werden Multicopter, Drohnen, UAV oder UAS genannt und erfreuen sich dank rasant fortschreitender Technik ständig steigender Beliebtheit. Faszinierende Technik, Spaß am rasanten Flug, die immer besseren Bild- und Video-Aufzeichnungsmöglichkeiten sind hier die Stichworte, die diese Fluggeräte kennzeichnen. Wir unternehmen einen mit vielen Praxistipps versehenen Streifzug durch die aktuelle Technik und belichten auch das Umfeld. Beides hat sich seit unserem lange zurückliegenden ersten Bericht zum Thema im Jahre 2010 gewaltig verändert.



Faszination Multicopter

Der Begriff „Multicopter“ trifft die Technik am ehesten, denn er kennzeichnet das Funktionsprinzip – vier bis zwölf Tragschrauben halten diese Art des Luftfahrzeugs in der Luft, allein deren Drehzahlvariation bestimmt Steuerung, Fluggeschwindigkeit und Richtung. Wir haben hier weder den lästigen und nicht einfach beherrschbaren Rotationsimpuls um die Hochachse wie bei Hubschraubern, noch unterliegt der Multicopter den aerodynamischen Gesetzen eines Flächenfliegers. Das ist allerdings auch ein kleiner Nachteil – den Multicopter hält nichts in der Luft als die ständig mit hoher Drehzahl rotierenden Tragschrauben. Entsprechend kürzer sind die mit einer Akkulation erreichbaren Flugzeiten.



Bild 1: Nur 42 mm Seitenlänge und 13 g Gewicht – der AMEWI Trade Blaxter X40 ist ein Winzling, der aber richtig Spaß macht. Bild: AMEWI Best.-Nr. CJ-11 84 16

Die Hauptarbeit der Steuerung übernehmen hier leistungsfähige Mini-Rechner an Bord der Fluggeräte, die eng mit zahlreichen Sensoren zusammenarbeiten und es so selbst dem Anfänger einfach machen, solch ein Fluggerät zu fliegen. Freilich gehört auch hier viel Training dazu, bis man rasante Kunstflugmanöver, z. B. Flips, fliegen kann, aber selbst hier sorgen Stabilisierungssysteme für Unterstützung.

Noch einmal zur Begrifflichkeit. In der Amtssprache heißen diese Fluggeräte UAV bzw. UAS, im Deutschen „Unbemannte Luftfahrtsysteme“, landläufig hat sich der Begriff „Drohne“ eingebürgert. „UAV/UAS“ sind lediglich im Genehmigungsverkehr mit den Behörden für die gewerbliche Fliegerei relevant, das Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur (BMVI) setzt diesen Begriff auch ausdrücklich zur Unterscheidung zwischen gewerblicher und Sport-/Freizeitfliegerei ein.



Bild 2: Riesiger Highend-Copter – der Yuneec Tornado H920 misst stattliche 1,3 m in der Spannweite und hat eine 4K-Kamera an Bord. Bild: Yuneec Best.-Nr. CJ-12 46 73



Bild 3: Produziert 4K-Videos – die CG03+ von Yuneec als Bestandteil des Typhoon H. Bild: Yuneec Best.-Nr. CJ-12 46 72

Entsprechend der Rotoranzahl werden sie als Quadrocopter (vier), Hexacopter (sechs) oder Octocopter (acht) klassifiziert.

Die hochtechnisierten Fluggeräte gibt es von ultrakompakt (Bild 1) bis metergroß mit Spannweiten bis über einen Meter (Bild 2). In allen Baugrößen findet man heute kameratragende Drohnen, hier bildet sich auch das rasante Entwicklungstempo derameratechnik ab. Selbst in nur handtellergrößen Mini-Drohnen finden sich heute HD-Kamerasysteme mit kompletten Videosendern und interner Aufnahmemöglichkeit per Speicherkarte, und in den professionellen Modellen findet man heute schon hochwertige 4K-Kameras (Bild 3), deren Aufnahmen wir ja u. a. auch im Fernsehen unter den zahlreichen Titeln „XYZ von oben“ bewundern können. Selbst bei den ultraschnellen und leichten Racing-Drohnen finden wir heute schon hochauflösende Kamerasysteme, denn diese wiegen samt Elektronikboard nur wenige Gramm (Bild 4), der Begriff „Last“ will einem da nicht einfallen ...

Übrigens – auch wenn es Hunderte von Fertigmodellen in allen Größen und Ausstattungen gibt, die ab Lieferkarton (fast) sofort geflogen werden können (RTF = Ready to Fly), tut das dem Selbstbau keinerlei Abbruch. Ob als Bausatz oder ganz und gar selbst zusammengestellt (Bild 5), hier trifft der klassische Flugmodellbau auf Hightech-Elektronik, und man kann seinen individuellen Ambitionen freien Lauf



Bild 4: Die gesamte Einheit aus HD-Kamera, Bildverarbeitungssystem samt Speicherslot sowie Videosender des Hubsan H107D+ bringt gerade mal 5 g auf die Waage.

lassen. Das „Gehirn“, die Steuerung, ist nämlich preiswert und genau für diese Aufgabe geeignet, z. B. das weitverbreitete Multi-/NanoWii-Board (Bild 6), das alle Baugruppen eines Flight-Controllers enthält und individuell programmierbar ist.

Wie viele Tragschrauben?

Je mehr davon, desto tragfähiger ist natürlich die Drohne – das spielt besonders bei den kameratragenden Systemen eine Rolle. Und gerade bei diesen ist auch ein ruhiger, möglichst vibrationsfreier Flug wichtig, auch wenn moderne Kameraträger (Gimbals) hier viel ausgleichen. Dazu kommt der Vorteil, dass man etwa bei einem Hexacopter den Ausfall eines Antriebs kaum zu spüren bekommt bzw. die Drohne wenigstens noch unfallfrei gelandet werden kann. Die intelligente Stabilisierungselektronik kann hier den Verlust eines Antriebs ausgleichen – gerade bei den teuren Großdrohnen ein nicht zu vernachlässigender Vorteil, denn im professionellen Bereich geht es hier schnell um fünfstellende Beträge.

Ob man sich bei der Anschaffung der ersten Drohne für oder gegen ein Modell mit Tragschraubenschutz (Bild 7) entscheidet, ist individuelle Ermessenssache. Auf jeden Fall ist dies praktisch für Einsteiger und den Indoor-Flug – sowohl die empfindlichen Tragschrauben als auch die Inneneinrichtung werden so vor Schäden geschützt.

Bei der Betrachtung des Drohnen-Angebots fallen bei den Quadrocoptern unterschiedliche Anordnungen der Motoren auf, die sogar bei manchen Modellen umstellbar sind. Es gibt die Anordnung in Form eines Kreuzes, eines X oder eines H. Hier präferiert jeder Hersteller eine andere Form, je nach Modell trägt eine bestimmte Anordnung zu einem besseren Flugverhalten beim Foto- oder Racemodus bei, oder die Anordnung ist besser für den Fotoflug geeignet, da keine Ausleger im Bildwinkel der Kamera sind.

Auspacken und fliegen?

Jein – selbst der schon erfahrene Pilot wird niemals sofort losfliegen. Das Einstellen der Sensorik und das Trimmen sind wichtige Bestandteile der Flugvorbereitung und in jedem Manual ausführlich beschrieben. Wer das ignoriert und sich nicht die wenigen Minuten nimmt, bei dem fliegt Kommissar Zufall mit. Selbst das Attribut „eingeflogen im Werk“ hat nur insofern Bedeutung, als dass garantiert wird, dass alles reibungslos funktioniert. Dies gilt insbesondere für die Motoren. Diese



Bild 5: Buch zum Drohnen-Selbstbau von A bis Z – die Alternative zum Fertigmodell. Bild: Franzis

Best.-Nr.: CJ-12 69 38



brauchen eine Einlaufzeit, um tatsächlich entsprechend ihrer Spezifizierung zu laufen. Beachtet man dies nicht und trifft auch noch auf einen „unwilligen“ Motor, muss man sich nicht wundern, wenn die Drohne trotz aller Trimmversuche nicht startet und immer wieder „auf die Nase fällt“. Also fixieren und die Motoren erst einige Akkuladungen voll mit unterschiedlichen Drehzahlen (wie beim Auto fängt man nicht mit den Höchstdrehzahlen an) drehen lassen. Dann sind Motoren, Getriebe und Lager eingelaufen und man kann davon ausgehen, dass sie nun alle vier bis acht gleichmäßig laufen.

Auch der Flugakku braucht etwas Zuwendung, denn er erreicht erst nach einigen Lade-/Entladezyklen die volle Leistungsfähigkeit. Ein Erstladen nach dem Auspacken ist auf jeden Fall Pflicht, und die ersten Flüge könnten kürzer ausfallen als im Datenblatt angegeben.

Dem Einsteiger helfen die modernen Stabilisierungs- und Flugassistenzsysteme sehr. Nahezu alle Drohnen haben heute einen Einsteigermodus, der sich dazu auch noch in der Reaktionsweise der Steuerung auf die Befehle am Steuerknüppel in weiten Grenzen einstellen lässt. So kann man dem Modell zunächst eine ausgesprochen gutmütige Reaktion auch auf hastige Steuerbefehle verschreiben, so fällt das Fliegenlernen wesentlich leichter. Das ist ein ganz entscheidender Vorteil gegenüber anderen Flugmodellarten und kann viele Schäden vermeiden. Dann gibt es noch für die ersten Flüge den Headless-Flugmodus, auch „Intelligent Orientation Control“ genannt. Der hilft, zunächst die grundlegenden Steuerungsvorgänge zu erlernen, ohne dass man die aktuelle Position der Nase des Modells bedenken muss. Hier fliegt das Modell vom Piloten aus gesehen, also immer nach rechts, wenn er rechts lenkt, auch, wenn die Nase etwa nach links oder zum Piloten zeigt bzw. dieser bei einem etwas weiter entfernten Modell die Orientierung über die Lage der Nase verloren hat. Das hilft sehr, sollte allerdings nicht zur Gewohnheit werden und schon gar nicht beim Landen oder bei rasanten Flugmanövern eingesetzt werden. Vor diesen bewahrt aber die Automatik ohnehin meist, da sie bestimmte Manöver einfach sperrt. Denn die reale Orientierung anhand verschiedenfarbiger Rotoren, LEDs oder Gehäusefarben ist letztlich zwingend, um „richtig“ fliegen zu können. Denn insgesamt ist die Orientierung im Raum und die Koordination verschiedener Flugachsen ein Muss für jeden ernsthaften Flug.

Übrigens schaden Flugsimulatoren für das Training überhaupt nichts, oft kann man sogar mit dem simulierten Original-Modell und der Original-Fernbedienung am Bildschirm trainieren (Bild 8), das haben schon Generationen von Modellfliegern, auch die Erfahrenen, hinter sich.

Fernsteuerung – von Infrarot bis Smartphone

Prinzipiell unterscheidet sich das Steuern nicht von dem anderer Flugmodelle, insbesondere dem von Helikoptern. Es gibt zunächst die beiden bekannten Steuermodi 1 und 2, die die Zuordnung der Steuerknüppel der Fernsteuerung kennzeichnen. Bei uns wird meist Mode 2 geflogen (und



Bild 7: Sicher geschützt – die Tragschrauben des ACME zoopa Q650 Razor sind crashsicher geschützt und können so auch selbst bei einer Kollision keinen Schaden anrichten.
Bild: ACME Best.-Nr. CJ-12 44 85



Bild 6: Weit verbreitet bei Selbstbau-Drohnen – das NanoWii-Board
Bild: NanoWii

ausgeliefert), das heißt, Gas ist links, und Höhen-Querruder ist rechts. Bild 9 zeigt eine aus einer Bedienungsanleitung entnommene Grafik für das Verhalten des Modells beim Steuern unter Mode 2. Die meisten Fernsteuerungen erlauben ein Umstellen der Steuermodi, einige sogar eine völlig flexible Anpassung an eigene Gewohnheiten.

Kleine, Einsteiger- und viele Indoor-Modelle werden nach wie vor mit der preiswerten, aber in der Reichweite auf wenige Meter begrenzte Infrarot-Fernsteuerung ausgestattet, hier ist allerdings die Sichtverbindung zwischen IR-Sender der Fernsteuerung und optischem Empfänger am Modell essenziell – das geringste Hindernis, das für den Piloten vielleicht nicht einmal die Sicht behindert, führt zum Steuerungsausfall. Intelligente IR-Steuerungen können dies aber in gewissem Maße kompensieren, indem die Fluglageregelung einen Schwebemodus bei Signalausfall befiehlt.

Bei den Funk-Fernsteuerungen hat sich die 2,4-GHz-Digitalsteuerung heute vollständig durchgesetzt, sie hat eine hohe Reichweite, bietet aufgrund der digitalen Steuerung auch genug Kanäle für viele Sonderfunktionen wie Licht- oder Kamerasteuerung, und sie kommt verschlüsselt und damit weitgehend störicher daher. Viele Drohnenmodelle, die Kameras tragen, verfügen für den FPV-Flug (FPV = First Person View, Flugkontrolle aus Pilotensicht per Monitor oder Videobrille an der Bodenstation) über eine Videolink-Strecke zur Bodenstation (auf dem Kameramodul in Bild 4 ist auch der entsprechende Sender samt hier einfacher Drahtantenne untergebracht), die meist im relativ störungsfreien 5,8-GHz-Bereich mit seinen



Bild 8: Üben mit Simulator, realen Modellen und in realen Landschaften – Simulatoren machen den Einstieg einfach.
Bild: Yuneec Best.-Nr. CJ-12 34 73

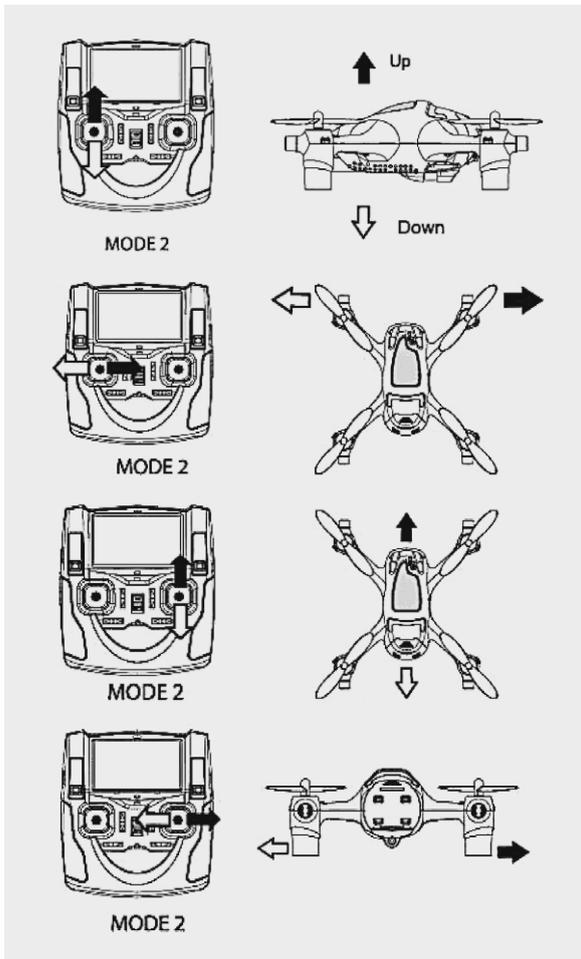


Bild 9: Die wichtigsten Steueranöver, hier unter Mode 2

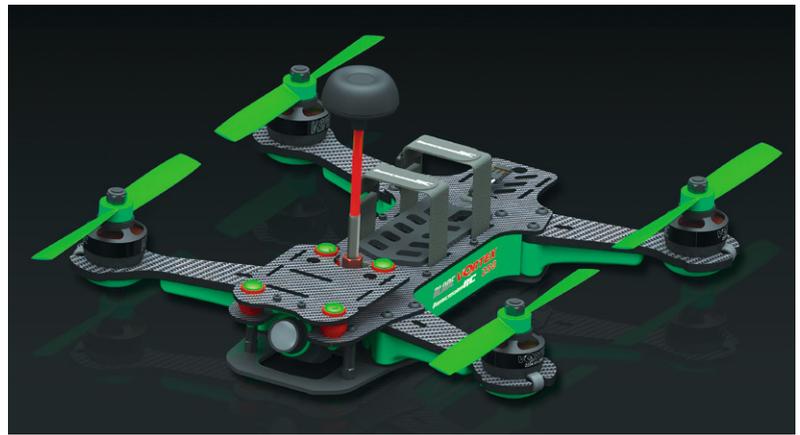


Bild 10: Eine hochwertige Rundstrahlantenne wie die Cloverleaf-Antenne auf dem Horizon Blade Vortex 250 Pro FPV sichert eine gute Videokanal-Reichweite bei allen Flugmanövern.
Bild: Horizon
Best.-Nr. CJ-12 38 65



Bild 11: Fliegen mit dem Handy als Steuerung – hier am Beispiel der Parrot AR.Drohne 2.0.
Bild: Parrot
Best.-Nr. CJ-11 56 17



Bild 12: Fernsteuerung mit integriertem Android-Tablet. Bild: Yuneec

SN:C9 02 00 00
MAC:00:80:A3:A0:5C:E2
SSID:ZANO_A05CE2
WPA2:FINETIGER

Bild 13: Wird angemeldet wie ein normales Netzwerkgerät – WLAN-Copter FlyZano

relativ breitbandigen Kanälen arbeitet. Aufwendige Systeme arbeiten hier auch mit entsprechend ausgefeilten Antennensystemen, etwa den beliebten, weil kompakten Clover-Leaf-Rundstrahlantennen (siehe Bild 10) oder Mehrfach-Richtantennensystemen, z. B. Helix-Antennen an der Bodenstation. Auch der Videolink per WLAN zu einem auf die Fernsteuerung aufsteckbaren Handy als Monitorstation ist möglich.

In letzter Zeit gewinnt aber auch eine neue Art der Steuerung Raum, die die Möglichkeiten der Computerisierung voll ausnutzt – die Android-Steuerung, entweder direkt per WLAN und Smartphone (Bild 11 zeigt dies am Beispiel der beliebten Parrot-Drohne) oder als ein in eine hochqualitative FPV-Station integriertes Android-System, wie man es zum Beispiel bei Yuneec findet (Bild 12). Hier sind durch die vielfältig installierbaren Apps das integrierte GPS und im Falle der Handsteuerung auch die integrierten Sensoren des Handys direkt einbindbar, so kann das Modell eben auch durch die Bewegungen des Handys direkt und intuitiv gesteuert werden – für manchen aber gewöhnungsbedürftig. Das Fluggerät ist dann eben ein normales WLAN-Gerät, das auch als solches konfiguriert wird (Bild 13).

Die Steuerung über ein Android-System hat natürlich eine enorme Flexibilität als wesentliche Eigen-

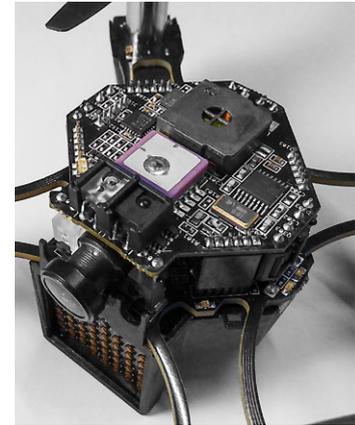
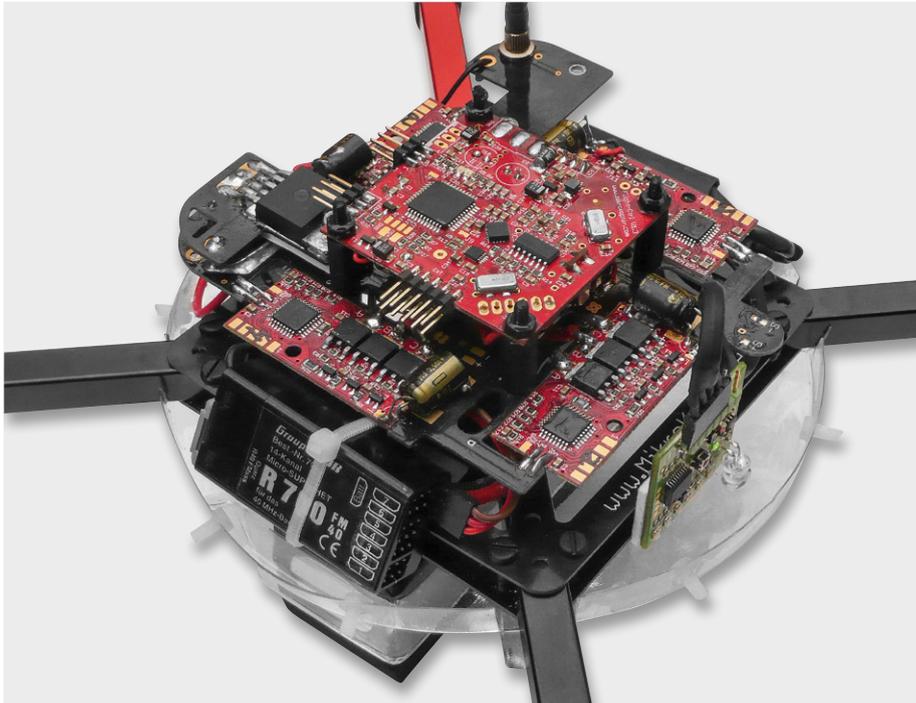


Bild 14: Im Größenvergleich – links Multicopter-Elektronik aus dem Jahr 2008 von Mikrokopter, rechts extrem kompakte Elektronik inklusive GPS, HD-Kamera und Kollisionsvermeidung des FlyZano

schaft. Man kann das Modell einfach ohne PC-Anschluss konfigurieren, den GPS-Flug per Karte und Geofencing ebenfalls ohne PC ausführen, man hat einen Bildschirm für den FPV-Flug zur Verfügung, kann den Flugsimulator darauf laufen lassen, Flugbilder online streamen usw.

Welche enorme Entwicklung die Miniaturisierung der Steuerelektronik genommen hat, kann man am einfachen Vergleich in Bild 14 sehen. Hier sieht man den Stand der Technik aus dem Jahr ca. 2008 – wobei man an den Motorreglern sehen kann, dass es sich um ein großes und sehr leistungsfähiges Modell handelt – und den aktuellen Miniaturisierungsstand anhand eines extrem kompakten WLAN-Modells mit voller Kollisionssensor-, GPS- und Kameraausstattung. Hier ist sogar ein frei programmierbares LED-Laufschrift-Display an Bord, das auch einen wirksamen weißen Scheinwerfer realisieren kann. Die beiden gestapelten Platinen haben nicht einmal eine Kantenlänge von 35 mm. Hier wurde jeder Quadrat- und Kubikmillimeter genutzt.

Viele elektronische Helfer an Bord

Ohne ausgefeilte Steuerungstechnik an Bord wäre eine Drohne überhaupt nicht flugfähig, denn es muss ein ständiger Informationsaustausch zur Fluglagestabilisierung stattfinden, um die Drehzahlen der

Rotoren so aufeinander abzustimmen, dass das Fluggerät stabil in der Luft liegt bzw. in eine bestimmte Richtung gesteuert werden kann. Deshalb gehört ein Gyroskop zur Grundausstattung. Das als 6- oder 9-Achsen-Sensor ausgeführte Gyroskop erfasst ständig alle Beschleunigungswerte auf den einzelnen Achsen und liefert dem steuernden Mikrocontroller diese Informationen, damit dieser sie mit den eintreffenden Steuerbefehlen abgleicht und entsprechend die Motoren ansteuert.

Zur Grundausstattung gehört auch ein Luftdrucksensor, der Daten für die Flughöhe liefert. So erhält der Steuerungscontroller ständig Informationen über die aktuelle Flughöhe, kann z. B. eine vorgegebene Flughöhe automatisch erreichen oder selbstständig landen. Auch ein automatischer Start ist so möglich, das entlastet den Piloten und vermeidet Unfälle. Denn hier wirkt auch bei der Drohne der Ground-Effect und der Pilot muss präzise und aufmerksam steuern, um das Fluggerät stabil aus dieser Zone he-

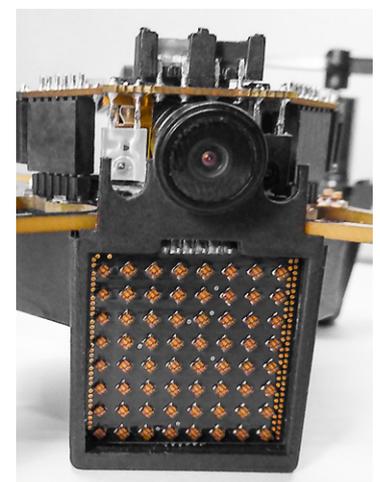
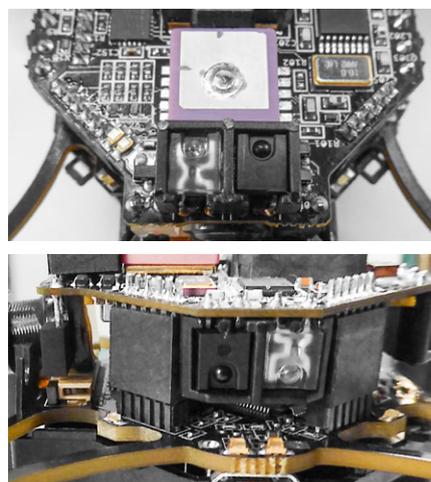
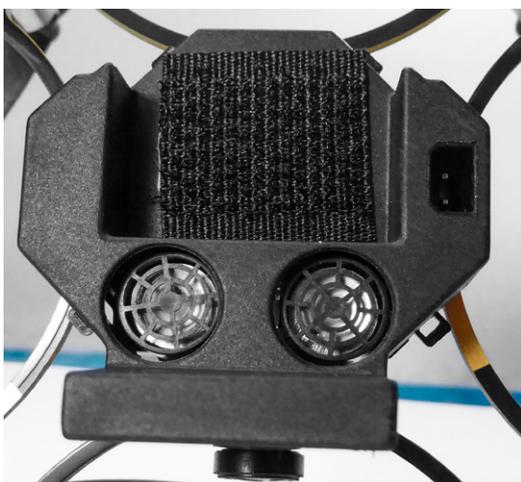


Bild 15: Sensoren, Sensoren, Sensoren – moderne Sensor- und Rechentechnik vermeidet Kollisionen, ermöglicht das Umfliegen von Hindernissen, selbstständiges Starten und Landen.

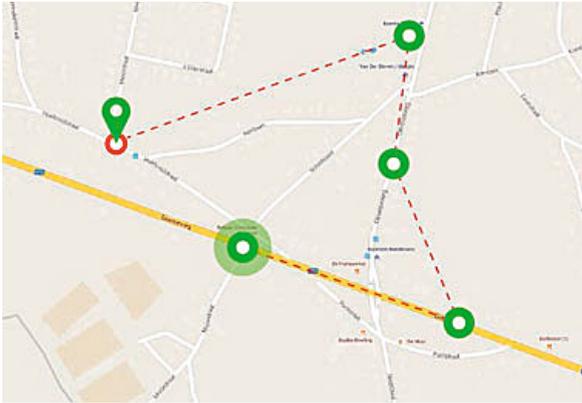


Bild 16: Waypoint-Fliegen – anhand vorgeplanter Kartendaten hierzulande verboten, anhand selbst abgeflogener und gespeicherter Kurse erlaubt, solange der Pilot die Kontrolle hat. Bild: XIRO



Best.-Nr. CJ-12 46 72

Bild 17: Platzsparend zum Transport im Rucksack eingeklappt – so wird der Typhoon zum handlichen Paket. Bild: Yuneec



Best.-Nr. CJ-12 63 41

Bild 18: 80 x 80 mm, ganze 57 g leicht, aber sogar ein HD-Kamera-system mit Videolink integriert – der ELV FPV X4 Plus



Bild 19: Ob integriertes Display oder aufgestecktes Handy, FPV-Drohnen übertragen das Bild aus Pilotensicht zur Bodenstation. Bild: Hobbico

rauszusteuern. Zahlreiche Drohnen verfügen deshalb über ein automatisches Startprogramm, das das Fluggerät startet und in einigen Metern Höhe stabil auf der Stelle schweben und auf Steuerbefehle warten lässt (Auto Level).

Kameras, Ultraschall- und Infrarot-Sensoren (Bild 15) erfassen ständig die Umgebung und sorgen so für die Sicherheit vor Kollisionen bzw. ermöglichen zusätzlich zur Höhenmessung durch Messung des Abstands zum Boden das autonome Landen. Die wohl ausgefeilteste Sensorik kommt derzeit beim Intel-Real-Sense-System zum Einsatz, das im Typhoon H von Yuneec verbaut ist. Hier erfassen Kameras, Infrarot-Laser und Sensoren detailliert die aktuelle Umgebung, ein leistungsfähiger Rechner bildet daraus ein virtuelles 3D-Bild und errechnet anhand der festgestellten Hindernisse eine Umgehung. So kann die Drohne mit diesem System selbstständig Hindernisse umfliegen, und z. B. auch ihrem Besitzer auf dem Mountainbike quer durch den Wald folgen. Einfachere Kollisionsvermeidungssysteme halten die Drohne lediglich vor einem Hindernis an bzw. ermöglichen auch halbautonome Indoor-Flüge, ohne ein GPS an Bord haben zu müssen.

Stichwort GPS: Ein GPS-System an Bord ist das Sahnehäubchen auf der Sensorausstattung. Denn damit ist im Freien eine perfekte Standortbestimmung möglich, es sind vorgegebene Punkte anfliegbar, das Fluggerät kann automatisch zum Startpunkt zurückkehren (Coming Home) und automatisch vorprogrammierte Routen abfliegen. Gerade für den Videoflug sind die zuletzt genannten Optionen äußerst interessant. Dabei können wiederum verschiedene Möglichkeiten zum Einsatz kommen. Die sicherste und praktischste ist das Abfliegen der Route und ihre Speicherung, um sie später autonom abfliegen zu können (Curve Cable Cam). So kann man sich beim Orientierungsflug voll auf das Fliegen konzentrieren und später beim Videoflug verstärkt der Kameraführung widmen. Auch ein Vorprogrammieren anhand einer elektronischen Karte (Waypoint-Fliegen, Bild 16) ist mit einem GPS-System technisch möglich, allerdings vielfach durch die Gesetzeslage (darauf kommen wir noch) eingeschränkt bzw. nur für das Programmieren von Flugverbotszonen genutzt. Denn nicht immer ist Kartenmaterial aktuell, es können in unbekanntem Gelände zudem neu hinzugekommene Hindernisse auftauchen und es kann damit zu Unfällen kommen. Mit GPS kann man auch einen virtuellen Zaun ziehen (Fencing), der den Raum festlegt, den das Flugmodell nicht verlassen darf. Anders herum ist diese Funktion auch zum Schutz von Piloten oder Zuschauern oder gegen das Überfliegen von Flugverbotszonen einsetzbar, indem man den virtuellen Zaun um diese herum zieht. Dann hält die Drohne automatisch Abstand.

Ein Kompass-Sensor vervollständigt die Sensorausstattung. Er ermöglicht nicht nur die Einhaltung einer vorgegebenen Richtung und das Anfliegen und Halten eines bestimmten Punkts (Hold), er macht auch erst den bereits beschriebenen Headless Mode möglich.



Bild 20: Das ultimative Flugerlebnis – FPV-Fliegen. Bild: Parrot



Bild 21: Kamertechnik vom Feinsten – hoch auflösende 4K-Kameras sorgen für brillante, professionelle Videoaufnahmen und Fotos. Für sehr hochwertige Kameras gibt es sogar Wechselobjektive wie aus der Film- und Fototechnik gewohnt. Links die P3C von DJI, rechts die Yuneec CG04

All diese Sensoren erlauben dann auch spezielle Flugmodi, die das Fluggerät automatisch ausführt. So z. B. das automatische Verfolgen des Piloten (Follow Me), das Umkreisen des Piloten bzw. des Senders (Orbit Me) oder eines zuvor festgelegten Objekts (Point of Interest). Auch das Anfliegen eines Objekts und automatisches Wegfliegen ist realisierbar (Journey). Schließlich kann die Drohne so auch automatisch zum Startpunkt oder zum Piloten zurückkehren. Dort bleibt sie entweder in einer vorprogrammierten Höhe stehen und wartet auf die manuelle Landungsteuerung, oder sie landet automatisch mit einem festzulegenden Sicherheitsabstand zum Piloten.

Zu diesen elektronischen Assistenzsystemen kommen bei manchen Modellen weitere Annehmlichkeiten wie z. B. einklappbare Landegestelle, die sowohl die Optik verbessern als auch der oft unter dem Modell montierten Kamera freie Rundumsicht bieten. Um die Kommunikation und den Signalempfang zu verbessern, verfügen einige Modelle auch über ein- und ausfahrbare Antennensysteme. Zum Beispiel sollte der GPS-Empfänger möglichst weit weg von der restlichen Elektronik und den Antrieben platziert werden. Das löst man entweder mit einem zusätzlichen Ausleger oder einem ausklappbaren Antennenträger. Und um vor allem größere Drohnen platzsparend transportieren zu können, bieten diese oft auch die Möglichkeit, die ausladenden Rotorarme einzuklappen (Bild 17). So passt dann auch eine große Drohne in einen speziellen Rucksack.

Nicht ohne Kamera

Neben dem Einsatz von Drohnen als Spiel- und Sportgerät in Form von einfachen (Mini-)Drohnen oder sogenannten Racern lockt vorwiegend der Flug mit einer Kamera an Bord. Selbst ultrakompakte Drohnen (Bild 18) können mit den, wie erwähnt, nur wenige Gramm leichten Systemen samt Videosender und Speicherkarte ausgerüstet werden. Der Kameraflug hat eine besondere Faszination, einmal ist das Filmen und Fotografieren aus luftiger Höhe etwas Besonderes und andererseits das virtuelle Mitfliegen auf dem Pilotensitz (FPV).

Letzteres bedingt auf jeden Fall eine Video-Link-Funkstrecke, die das Bild und zahlreiche Zusatzdaten (Telemetrie) zum Piloten überträgt. Der steuert das Modell nun über die Sicht auf einem Monitor oder auch über das Handy-Display (Bild 19) bzw. besonders wirklichkeitsnah über eine Videobrille (Bild 20). Das bietet ein einmaliges Flugerlebnis, bedingt aber einen Helfer, der das Ganze unter direkter Sichtkontrolle überwacht, da man ja beim FPV-Flug in der Regel nur nach vorn blickt.

Die Kamertechnik für den „normalen“ Kameraflug spannt je nach Modell und Einsatzzweck den weiten Bogen von der absoluten Mini-

Kamera bis hin zum fernseh-, ja kinotauglichen HD- und 4K-Format. Insbesondere die bei den teureren Kameradrohnen eingesetzten Kamerasysteme (Bild 21) sind heute hochprofessionelle Aufnahmegeräte, deren Aufnahmen den früher teuer mit Helikoptern gemachten Bildern in nichts nachstehen und im Übrigen auch der aktuell im Fernsehen mobil eingesetzten Technik entsprechen.

Diese Kameras sind bei den größeren Drohnen erschütterungsfrei und beweglich unter der Drohne angebracht, der Träger hierfür heißt Gimbal (Bild 22). Der sorgt für eine sichere Befestigung, entkoppelt die Kamera von den Vibrationen des Fluggeräts und kann diese in alle Richtungen bewegen. Die Technik ist auch hier, wie viele andere Details auch, dem professionellen Bereich entnommen.

Professionell ist auch das, was einige Drohnen für den Videoflug bieten, z. B. der Typhoon H. Hier kann man im Team Mode fliegen. Das heißt, der Pilot kümmert sich allein um die Steuerung der Drohne und der Kameramann steuert über eine zweite Bodenstation die Kamera. Das ergibt einen sicheren Flug, und man kann am Steuerpult für die Kamera und in Abstimmung mit dem Piloten alle choreografischen Register beim Filmen ziehen.

Unvermeidlich – die Regeln

Drohnen sind, wie schon erwähnt, unbemannte Luftfahrzeuge (UAV/UAS). Sie unterliegen, wie alle Modellflieger auch, dem Luftverkehrsgesetz des Landes, in dem sie geflogen werden. Wir wollen an dieser Stelle die konkret in Deutschland geltenden, wichtigsten Regeln betrachten, länderspezifische Regelungen für die Schweiz und Österreich sind ebenso wie weitere Regeln unter [1] zu finden.

Die legen zunächst fest, wann man eine sogenannte Aufstiegsgenehmigung und damit auch einen Befähigungsnachweis (Vorfliegen) für das Fliegen benötigt. Grundsätzlich ist diese für jeden einzelnen Flug nötig, wenn das Gesamtgewicht, Abfluggewicht genannt, mehr als 5 kg beträgt. Mit einer Aufstiegs-genehmigung ist ein Abfluggewicht bis 25 kg mög-



Bild 22: Aufwendige Gimbal-Konstruktionen sorgen für mechanische Entkopplung und Bewegung in allen Achsen für die Kamera. Bild: DJI

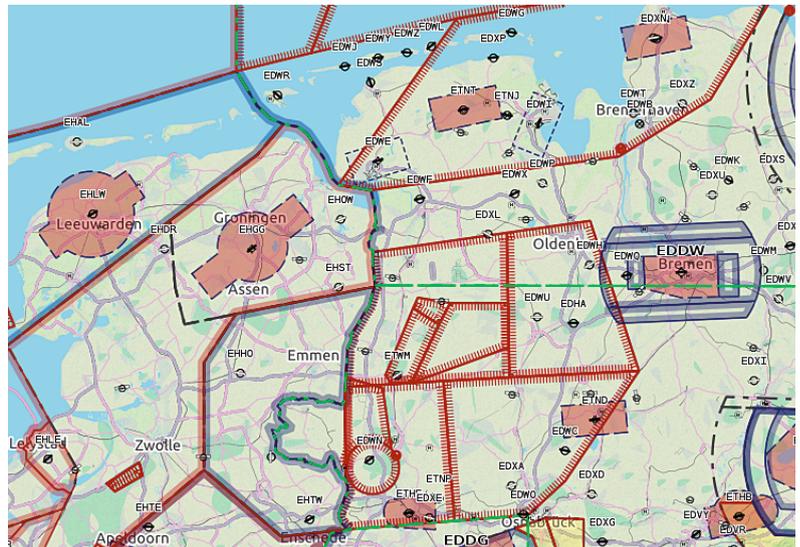


Bild 23: Auf detaillierten Karten, hier von openaip, kann man sich genau über Sperr- und Begrenzungszonen informieren. Bild: Openaip

lich. Generell wird eine Aufstiegsgenehmigung nötig, wenn man das Fliegen gewerblich betreibt, z. B. für professionelle Filmaufnahmen. Mit einer Aufstiegsgenehmigung darf man dann bis zu 50 m hoch fliegen, ohne sind nur 30 m maximale Flughöhe pauschal erlaubt. Die Aufstiegsenehmigung ist nicht bundesweit gültig und muss regional beantragt werden.

Da es beim Absturz oder einer Kollision selbst mit kleinen Drohnen zu erheblichen Schäden kommen kann, ist eine entsprechende Haftpflichtversicherung Pflicht! Diese kann, je nach Versicherer, entweder in die normale Haftpflichtversicherung eingeschlossen sein oder muss separat abgeschlossen werden, z. B. die DMO [2]. Hier kann auch der örtliche Modellflug-Verein helfen, eine preisgünstige Versicherung abzuschließen.

Die grenzenlose Freiheit am Himmel, wie sie Reinhard Mey besingt, gibt es nicht. Es gibt eine Fülle von Gebieten und Objekten, die nicht angefliegen oder überflogen werden dürfen. Grundsätzlich gilt: nicht über Menschenansammlungen und Tieren fliegen, hier ist auch ein seitlicher Mindestabstand von 50 m einzuhalten! Tabu sind auch Industrieanlagen, Kraftwerke, Verkehrswege, Militäranlagen, JVA's, Wohngebiete, Freileitungen, Masten, Türme, Windräder, Unfall- und Einsatzorte. Luftfahrzeugen, z. B. tief fliegenden Helikoptern, ist sofort auszuweichen und man muss sofort sicher landen. Zu Flugplätzen ist ein Sicherheitsabstand von 1,5 km zu halten, auch Einflugschneisen zählen dazu. Darüber hinaus gibt es zahlreiche Lufträume, die ganz oder teilweise (unter Bedingungen) für den Modellflug gesperrt sind. Derartige Gebiete sind in ICAO-Karten detailliert eingetragen. Diese sind gedruckt oder in elektronischer Form [3] erhältlich, aber auch frei [4, Bild 23] oder als Online-Overlays für Karten [5] verfügbar. Will man in der Nähe eines Verkehrsflughafens fliegen, bedarf dies einer Genehmigung und Kontrolle direkt durch die lokale Flugsicherung (Fluglotse im Tower).

Das man über fremden Grundstücken nur mit Genehmigung des Grundstücksbesitzers fliegt und Kameraaufnahmen von Personen ohne Verletzung

von deren Persönlichkeitsrechten vornimmt, dürfte ebenso selbstverständlich sein wie jegliches Fernhalten von Luftfahrzeugen. Gerade die Begegnung mit diesen ist äußerst gefährlich, und Verstöße von Drohnenpiloten führten dazu, dass der Gesetzgeber gegenwärtig über eine Verschärfung der Bedingungen nachdenkt, die den Modellflug insgesamt nachhaltig schaden, wenn nicht unmöglich machen könnten.

Wichtig ist auch, wie geflogen wird. Es gilt das Sichtweiteprinzip und das der ständigen Kontrolle. Das heißt, die Drohne muss sich immer in direkter Sichtweite des Piloten und/oder einer zweiten Person, die in direktem Kontakt mit dem Piloten steht, befinden. Hier sind 300 m ein Richtwert. Das gilt auch für FPV-Flüge – eine zweite Person muss den Flug direkt, ohne Hilfsmittel wie Ferngläser, beobachten und ggf. direkt mit dem Piloten kommunizieren können. In einigen Ländern ist FPV-Flug generell ebenso verboten wie, z. B. in Deutschland, voll autonomes Fliegen einer Route (Waypoint-Fliegen nach Karte). Und auch bei der Nutzung der autonomen Flugassistenzsysteme ist es wie beim Autofahren, immer mindestens eine Hand ans Steuer und auf Sicht! Man muss also jederzeit manuell eingreifen können und immer direkten Sichtkontakt haben. Auch ist die Witterung zu beachten, so kann starker Wind das Fluggerät abtreiben und dieses den Sendebereich der Fernsteuerung verlassen.

Im Grund sind dies alles jedoch einfache und selbstverständliche Regeln, die man leicht einhalten kann und so viel und lange Spaß beim Fliegen der Drohne hat. **ELV**



Weitere Infos:

[1] Begriffserklärung zu Quadrocoptern, Multicoptern, Drohnen sowie alle bei ELV erhältlichen Modelle:

<http://www.elv.de/drohnen-quadrocopter.html>

[2] <http://www.deutsche-modellsport-organisation.de/Versicherungen.html>

[3] <http://www.dfs.de>

[4] <http://maps.openaip.net>

[5] <http://www.skyfool.de/Luftraume/>