

Drohnen

Multitalente am Himmel

Vor etwa zehn Jahren haben wir das erste Mal über Technik und Einsatz von Multicoptern, allgemein als Drohnen bezeichnet, ausführlich berichtet. Seitdem hat sich auf diesem Gebiet eine Menge getan. Heute kann dank modernster Technik an Bord jeder quasi ad hoc eine Drohne fliegen und dabei Bilder und Videos in höchster Qualität produzieren lassen. Wir werfen einen Blick auf die aktuelle Technik, die Flugmöglichkeiten, die Gesetzeslage und die Einordnung der verschiedenen Fluggeräteklassen.



Von Spielzeug bis Rettung

Drohnen in der Form, wie wir sie heute kennen, haben mittlerweile eine etwa 15-jährige Geschichte und sind auf vielen Gebieten ein selbstverständliches Werkzeug. Nach wie vor sind sie wohl am deutlichsten im Hobbybereich sichtbar, vom reinen (Kinder-) Spielzeug über kleine Kameradrohnen bis hin zur semiprofessionellen Drohne mit sehr hochwertiger Kameraausstattung oder der reinen Racing-Drohne, die eine neue Modellsportart begründet hat.

Ursprung und nach wie vor Haupteinsatzgebiet hochtechnisierter High-End-Drohnen ist der professionelle Einsatz. Die Polizei nutzt Drohnen für die verschiedensten Zwecke ebenso selbstverständlich wie die Feuerwehr, Architekten, Sachverständige, Filmschaffende, Handwerker oder Landwirte ([Bild 1](#)). Bei Letzteren ist z. B. der Drohneneinsatz vor der Heu- oder Mäusernte inzwischen fast selbstverständlich, um im Grün versteckte Tiere aufzuspüren und deren Standort zu markieren.



Zunehmend werden Drohnen auch in Rettungsdiensten eingesetzt. So machen z. B. seit einigen Jahren die DRK-Wasserrettung und die DLRG in Mecklenburg-Vorpommern Schlagzeilen mit aus Spendenmitteln, z. B. via [1], finanzierten DJI Inspire-Drohnen, die in Not geratene Schwimmer erreichen und dort Rettungs- und Markierungsmittel abwerfen können (Bild 2). So gewinnen die Retter wertvolle Zeit, um per Boot oder schwimmend zu in Not geratenen Person zu gelangen.

Zum täglichen Erscheinungsbild gehören Drohnen in manchen Gebieten der Welt, wenn es gilt, etwa Medikamente schnell in entlegene Gegenden zu bringen. Ebenso erproben Zustelldienste seit Langem die Postzustellung per Drohne in dünn besiedelten Gebieten. Hier ist allerdings die Wirtschaftlichkeit noch nicht immer gegeben, weshalb einige Pilotversuche, so z. B. das DHL-Projekt zu Flügen auf die ostfriesischen Inseln, zunächst wieder eingestellt wurden.

Schwieriges Umfeld und die Gesetze

Die zunehmenden Anwendungen der offiziell als unbemannte Luftfahrzeuge (UAS/UAV – Unmanned Aircraft System/Unmanned Aerial Vehicles) bezeichneten Fluggeräte machten bald gesetzliche Regelungen zu deren Betrieb erforderlich, um Unfälle und Schäden zu vermeiden. Auch bedurfte der zunehmende Missbrauch der Fluggeräte – vom unerlaubten Kameraflug über Nachbars Grundstück über Gefährdungen des Luftverkehrs bis hin zu kriminellen Einsätzen wie etwa der Abwurf von Drogen, Handys etc. über Haftanstalten – dringend der Regelung. Über die bis ins Jahr 2020 geltenden Regeln inklusive der Versicherungspflicht haben wir bereits in [2] ausführlich berichtet. Heute beinhalten im Übrigen viele Privathaftpflichtversicherungen eine Drohnenversicherung. Nachschauen in den Versicherungsbedingungen bzw. explizite Nachfrage bei der eigenen Versicherung lohnt sich – unter Umständen muss man keine zusätzliche Modellhaftpflichtversicherung abschließen.

Inzwischen gehört auch die Identifikation über eine anzubringende, wasser- und feuerfeste Plakette mit Pflichtangaben zum Besitzer dazu (Bild 3).

Das Jahr 2021 wird jedoch gravierende Veränderungen der Gesetzeslage mit sich bringen. Zum 01.01.2021 tritt als Reaktion auf den inzwischen massenhaften und vor allem durch den Tourismus bedingten länderübergreifenden Betrieb der Fluggeräte die neue EU-Drohnenverordnung in Kraft. Ausführliche und in die Praxis übersetzte Details kann man z. B. unter [3] nachlesen. Die wesentlichen Punkte betreffen neben der neuen Aufstiegshöhe von 120 m über Grund statt der bisherigen 100 m die Einteilung der Drohnen in verschiedene Kategorien (Klassen) je nach Gewicht und Einsatz (Risikokategorie), Kennzeichnungs- und Registrierungspflicht und die daran gebundene Kompetenzeinteilung für die nun „Fernpiloten“ genannten Drohnenpiloten. So sind zukünftig nur noch Drohnen bis 250 g Abfluggewicht wie z. B. die Mavic Mini von DJI mit exakt 249 g ohne den sogenannten EU-Drohnenführerschein zu fliegen, alle schwereren Drohnen erfordern in verschiedenen Klassen den „kleinen“ oder „großen“ EU-Drohnenführerschein. Während der kleine EU-Drohnenführerschein (EU-Kompetenznachweis, A1/A3) zukünftig nach einem Onlinelehrgang mit anschließender Onlineprüfung abgelegt werden kann, ist die Prüfung für den großen EU-Führerschein (EU-Fernpiloten-Zeugnis, A2) bei einer vom Luftfahrtbundesamt (LBA) zertifizierten Stelle abzugeben. Letzterer betrifft aber fast ausschließlich die kommerzielle Nutzung der großen Drohnen.

Zur Kennzeichnungspflicht gehört zukünftig auch eine vom LBA bei der zwingenden Registrierung von Pilot und Fluggerät vergebene elektronische Identifikationsnummer. Diese ist dann auf dem heute schon anzubringenden Kennzeichnungsschild aufzuführen, dazu kommt eine Pflichtausstattung für Drohnen ab 250 g mit einem elektronischen Fernidentifizierungssystem, das auch die Identifizierung z. B. per Smartphone-App im Flug erlaubt.

Wir wollen hier nicht tiefer ins Detail gehen, zumal zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrags (September 2020) noch zahlreiche Durch-



Bild 1: Der Drohneinsatz im kommerziellen Bereich ist vielfältig, hier Beispiele für den Einsatz im Handwerk, in der Landwirtschaft bei der Erntevorbereitung oder beim Aufklären von Brandherden.



Bild 2: Drohnen können Leben retten – hier eine DJI Inspire der DRK-Wasserwacht in Mecklenburg-Vorpommern. Auch die DLRG nutzt solche Drohnen, die Rettungs- und Markierungsmittel bei Wasserrettungsaktionen abwerfen können.

Bild: DRK Wasserwacht Mecklenburg-Vorpommern

Bild 3: Fliegt die Drohne weg bzw. verursacht sie etwa bei einem Absturz einen Schaden, lässt sich der Besitzer anhand der vorgeschriebenen wasser- und feuerfesten Kennzeichnungsplakette ermitteln. Bild: DJI



führungsbestimmungen fehlen, es war zu dieser Zeit auch noch keine zertifizierte Stelle für das Ablegen der Prüfung bekannt. Und auch die Hersteller der Drohnen hatten bis dahin noch keine Klassifizierungskennzeichnungen oder Ausrüstung mit Fernidentifizierungstechnik ihrer Produkte vorgenommen.

Aktuelle und ausführliche Informationen dazu gibt es auch unter [4].

Ein Vorteil von Drohnenführerschein und Kennzeichnungspflicht ist die einheitliche Gesetzesgrundlage zumindest im Bereich der EU – man muss sich dann nur noch mit den örtlichen Flugverkehrsregelungen befassen und kann ansonsten überall in Europa fliegen.

Wenden wir uns nun der spannenden Technik und der Flugpraxis der heutigen Drohnen, insbesondere im Hobby-Bereich, zu.

Ziemlich perfekte Technik

Es gibt eine Vielzahl von Bauformen – von starren Drohnen wie die bekannte DJI Phantom-Serie, die Parrot-Drohnen oder die Yuneec-Typhoon-Drohnen über speziell an den Einsatzzweck angepasste Drohnen wie die DJI Inspire, die sich neben den Yuneec-Typhoon-Drohnen (Bild 4) einen Namen als professionelle Video-Drohne gemacht hat, bis hin zu den heute



Bild 4: Durch und durch professionell: Yuneec Typhoon H3 mit High-End-1"-Leica an Bord. Bild: Yuneec



Bild 5: Pionier des Klappdesigns – Typhoon-Drohne von Yuneec. Bild: Yuneec



Bild 7: Das Klappdesign hat sich auch in den unteren Preisregionen durchgesetzt, hier die Eachine 520S mit GPS und 4-K-Kamera für gut 110 Euro. Bilder: Eachine

sehr beliebten Klappdrohnen. Letztere wollen wir anhand der überaus erfolgreichen DJI Mavic-Serie in der Folge und im Vergleich zu ähnlichen Modellen etwas näher betrachten. Die reinen Hochleistungs-Sport-Drohnen lassen wir hier außen vor, deren Technik allein würde einen ganzen Artikel beanspruchen.

Dass die starren Drohnen recht viel Platz beim Transport benötigen und ihnen so in vielen Fällen der Einsatz verwehrt blieb, brachte die Drohnen-Designer bereits frühzeitig auf die Idee, die ausladenden Rotorarme klappbar zu gestalten und damit den Transport zu vereinfachen. Der Pionier war hier Yuneec mit seiner faltbaren Typhoon-Drohne, die zusammengeklappt in einem Rucksack Platz findet (Bild 5). Das aus heutiger Sicht jedoch perfekte Klappdrohnen-Design dürfte DJI mit seiner Mavic-Reihe realisiert haben. Je nach Größenklasse passen die Drohnen bequem auf eine Handfläche oder in die Hosentasche, Bild 6 fasst hier einige dieser Ansichten im zusammengeklappten Zustand zusammen. Dieses fortschrittliche Design fand viele Nachahmer, die inzwischen in bestimmten Bereichen, wie etwa die preiswerten Einsteiger-Kameradrohnen von Eachine (Bild 7), dem Vorbild Konkurrenz machen. Hier findet man viele konstruktive Details des Vorbilds wieder. Was allerdings den Unterschied zu diesem ausmacht, darauf kommen wir noch.



Bild 6: Superkompakt zusammengeklappt – die MavicIC Klappdrohnen lassen sich einfach transportieren. Unten im Bild ist die 249-g-Drohne Mavic Mini zu sehen. Bilder: DJI

Leistungsstarke Akkus, optimierte Propeller (auch in Hinblick auf die Geräusentwicklung) und eine hochentwickelte Steuerungs- und Datenübertragungstechnik machen dem Piloten das Leben heute recht leicht. Die Drohnen kontrollieren über zahlreiche Abstandssensoren, Onboard-Kamerasysteme, GPS-, Lage- und Kompassensoren ihre Fluglage und die meisten Flugverläufe weitgehend autark, sodass der Pilot sich nur auf den eigentlichen Einsatz, also in der Regel den Kameraflug konzentrieren kann. Die hier eingesetzten Bildübertragungssysteme sind heute ebenso leistungsfähig und früheren Generationen sowohl in der Bildqualität als auch in der Übertragungreichweite und der für die Echtzeitkontrolle so wichtigen Latenzzeit weit überlegen.

Fliegen – ganz einfach

Beim Sport- und Spielzeugflieger ist das Steuern der Drohne die eigentliche Aufgabe des Piloten, hier unterstützen diesen lediglich intelligent verknüpfte Lagesensoren. Es schadet allerdings auch nicht, das rein manuelle Fliegen von der Pike auf zu lernen, um später auch mit der autonom fliegenden Drohne perfekt und gut ausgebildet umgehen zu können. Denn auch hier ist mitunter rein manuelles Fliegen erforderlich, um die Drohne sicher wieder auf den Boden zurückzubringen.



Bei der Kameradrohne spielen andere Prioritäten eine Rolle. Dabei soll der Pilot von den essenziellen Flugmanövern wie Starten, Landen, stabile Fluglage und Orientierung im Raum so weit wie möglich entlastet werden. Hier greift modernste Sensor- und Mikrorechentechnik. Betrachten wir eine gut ausgestattete Drohne wie im Beispiel unsere DJI Mavic Pro (Bild 8) näher, so finden wir bei diesem Modell zwei komplette Sensorsysteme, die aus Abstandssensoren (Time-of-Flight-Sensoren) sowie hier insgesamt vier Minikameras bestehen. Diese sichern die Erkennung der Umgebung, im Fall der Mavic Pro nach vorn und unten, bei anderen Modellen zusätzlich nach oben und hinten, wie die Schemata in Bild 9 zeigen. Mit diesem kombinierten Sensorsystem ist die Hinderniserkennung im Flug ebenso exakt (hier zwischen 0,7 und 15 m), wie es für den perfekten autonomen Start und eine ebensolche Landung nötig ist. Denn das System kann die Höhenposition zwischen 0,3 und 13 m sehr genau bestimmen. Zudem kann das Kamerasystem zusammen mit dem Onboard-



Bild 8: Lange Zeit der Star unter den Klappdrohnen, inzwischen durch die Nachfolgemodelle Pro 2 und Zoom abgelöst – die große Mavic Pro (335 mm/734 g) mit 4-K-Kamera, 3-Achs-Gimbal und kamerabasierten Sichtsystemen nach vorn und unten. Bilder: DJI

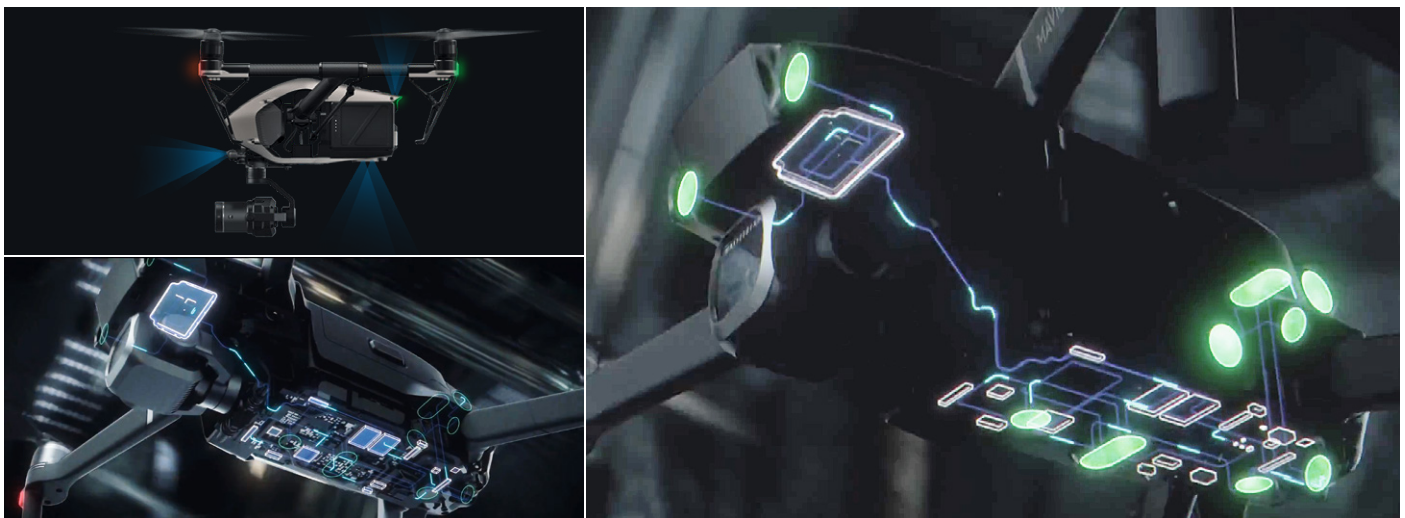


Bild 9: Moderne Drohnen sind quasi ringsum mit Sensoren für die Hinderniserkennung und das autonome Fliegen bestückt, hier die Sensorschemata der DJI Inspire (links oben) und der Mavic Pro 2, die über drei Sichtsysteme verfügt. Bilder: DJI

GPS das exakte Landen genau am Startpunkt realisieren, da es je nach Modell und Flugmodus dessen Ansicht speichert und nach Wiedererreichen des Startbereichs per GPS genau nach dem gespeicherten Bild- bzw. Geländemuster anfliegt sowie, gesteuert durch die Abstandssensoren, nach einer Bestätigung oder allein sanft landet. So hat sich auch bei diesen Drohnen das sichere Starten und Landen von der Handfläche am ausgestreckten Arm etabliert. Dank der Bilderkennung des Startplatzes kann man diese Drohnen sogar halb autonom auf einem Boot landen lassen, das sich seit dem Start fortbewegt hat. Hier fliegt man das Boot manuell an, das sich in dieser Zeit nicht bewegen sollte, und lässt die Drohne dann automatisch auf der Startmarkierung, z. B. ein schwarzes Klebandmuster auf dem Deck, oder eben wieder auf der Handfläche landen. Man kann gut beobachten, wie die Drohne sich auf die Landung vorbereitet, denn sie landet nicht aus voller Fahrt, sondern schwebt kurz über der Landeposition, bevor sie nach einer Bestätigung (Bild 10) endgültig landet. So verhält sie sich auch, wenn sie den Untergrund nicht eindeutig als landefähig erkennt, z. B. Wasserflächen oder stark reflektierender Untergrund. Dies nennt man Landeschutz.

Wasser? Geht auch!

Apropos Wasser: Mit einem geeigneten Landegestell wie etwa unser im 3D-Drucker nach einem Thingiverse-Vorbild entstandenes Schwimmergestell für die Mavic Pro (Bild 11) ist auch Starten und Landen auf einem ruhigen Gewässer möglich. Hier sollte man allerdings sehr gründlich testen, denn bei falsch austarieren Schwimmern kann es schnell passieren, dass die Drohne nach vorn kippt und dann kopfüber ins Wasser fällt. Sie geht

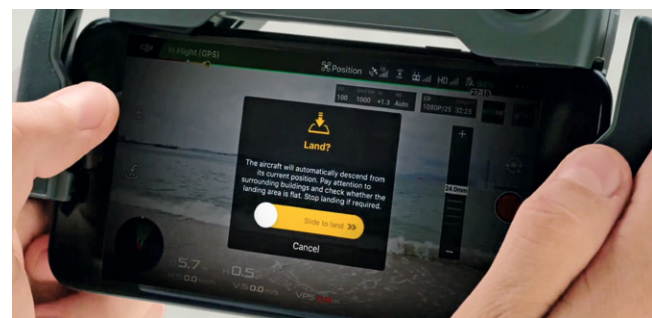


Bild 10: Automatisch landen auf Knopfdruck – Drohnen mit leistungsstarken Sensorbestückungen bewältigen dies ohne Probleme. Bild: DJI



Bild 11: Ein passendes Wasserlandegestell, hier aus dem 3D-Drucker, gibt Sicherheit bei Flügen über Gewässern und ermöglicht sogar das Starten und Landen auf dem Wasser.

dabei zwar nicht unter, dürfte aber meist irreparabel beschädigt sein. In einschlägigen 3D-Objektdatenbanken wie Thingiverse oder bei YouTube findet man zahlreiche erprobte Konstruktionen, so auch die beliebte Schwimmerkonstruktion mit vier großen Deko-Styroporkugeln.

Ebenso autonom wie die Landung verläuft der Start. Nachdem die Drohne die Startbereitschaft gemeldet hat, sie also den Startplatz erfasst und per GPS vermessen hat, reicht ein Tastendruck oder ein Wischen auf dem Display in der Steuer-App, und die Drohne hebt ab (Bild 12). In einer vorgegebenen Höhe geht sie dann in den Schwebeflug über und wartet auf Steuerbefehle.

Von diesen kritischen Vorgängen, Starten und Landen ist der Pilot also schon einmal weitgehend entlastet.

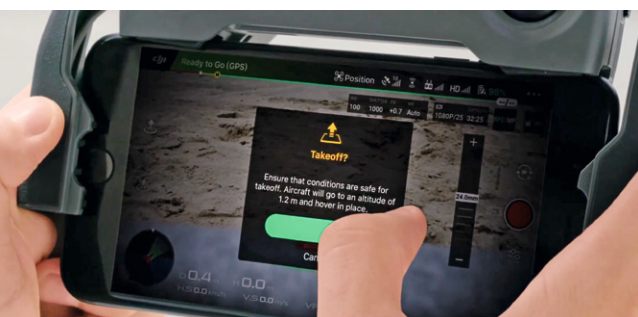


Bild 12: Hebt auf einen Fingerslide in der App ab – auch das Starten ist bei vielen Drohnen automatisiert und damit eine sichere Sache. Bild: DJI

Das intelligente Zusammenarbeiten zwischen Fluglageregelung, GPS, Kompass und Hinderniserkennung macht auch das eigentliche Fliegen einfach. Was passiert z. B., wenn der Pilot die Warnung vor bald leerem Flugakku ignoriert (zu übersehen bzw. überhören ist die Warnung kaum), eine massive Funkstörung vorliegt oder sich das Fluggerät sogar aus dem Sicht bzw. Funkreichweitebereich entfernt hat? Sichtflug ist Pflicht, aber moderne Drohnen wie die Mavics weisen Sendereichweiten bis zu 10 km auf und übertragen dank ausgeklügelter Langstrecken-Funktechnik auch ihre Videos in HD über solche Entfernungen. Theoretisch kann es also weit weg gehen, und schon

in einigen hundert Metern Entfernung ist die kleine Drohne kaum noch erkennbar. Bestenfalls die sehr hellen Orientierungslichter erlauben je nach Lichtverhältnissen eine Nachverfolgung. Zurückkehren, im Ernstfall autonom, ist also ein Thema. Als Flugmodus spricht man hier von „Return to Home“ (RTH). Auch das erledigt die Drohne autonom oder auf einen einfachen Knopfdruck hin. Dass die Akkuladung noch für eine Rückkehr mit Reserve reicht, wird ebenso berücksichtigt wie etwaige Hindernisse auf dem Rückflug, die autonom um- oder überflogen werden (Bild 13).

In aller Regel findet also die Drohne ihren Rückweg zum Startplatz allein, im Notfall sogar ohne Funkverbindung zur Fernsteuerung. Allerdings bedingt diese Funktion ein ausreichend starkes GPS-Signal. Das wird bei bestehender Funkverbindung an der Fernsteuerung angezeigt und ggf. bei zu schwachem GPS-Signal der Pilot aufgefordert, die Rückkehr von Hand zu steuern.

Intelligente Flugmodi

Will der Pilot sich nun nach dem Start weitgehend der Kameraarbeit widmen, hilft ihm auch da die Technik. Sehr nützlich ist hier die App-Steuerung über ein Smartphone oder ein Tablet, das über eine Halterung an der eigentlichen Fernsteuerung befestigt und mit dieser gekoppelt wird (Bild 14). Diese App ermöglicht über die Echtzeiterfassung des von der Drohne ausgesandten Kamerabildes das Abfliegen autonomer Flugmuster. Davon gibt es inzwischen sehr viele (auch mit unterschiedlichen Bezeichnungen für dieselbe Funktion). Wir wollen einige davon betrachten.

Flieg dahin! TapFly, Headless und Waypoint

Nach dem Start der Drohne wählt man in der App den TapFly-Modus an und markiert dann mit dem Finger auf dem Kamerabild das Ziel, wohin die Drohne fliegen soll. Hat die Drohne das Ziel erfasst und gespeichert, startet sie nach einer Bestätigung den Flug in Richtung Ziel und wartet nach Erreichen des Ziels im Schwebeflug auf weitere Befehle. Mit eingeschalteter Hinderniserkennung kann die Drohne etwa tolle Videoflüge in einer Allee unter dem Blätterdach ausführen. In gleicher Weise kann man dann den Rückflug starten: den Zielpunkt markieren und los!

Beim Headless- oder Geradeaus-Modus fliegt die Drohne exakt geradeaus in die vorgegebene Richtung, egal, wohin die Kamera schaut. So kann man exakte Strecken exakt quer abfliegen, ohne sich um die Ausrichtung der Drohne kümmern zu müssen.

Im Waypoint-Modus gibt man entweder im Kamerabild oder einer einblendeten Kartenansicht mehrere Punkte vor, die die Drohne abfliegen soll. So kann man z. B. gezielt ein Geländestück für ein Absuchen abfliegen oder ein bestimmtes Areal wie ein Gebäude ringsum erfassen.

Mir nach! Active Track

Dieser Modus ist äußerst beliebt, ermöglicht er doch spannende dynamische Aufnahmen eines bewegten Zielobjekts. Man lässt nach dem Start

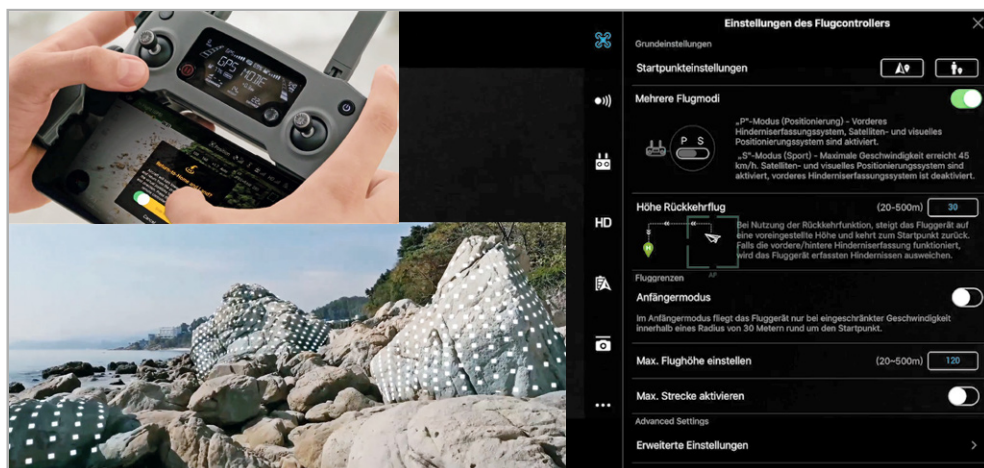


Bild 13: Autonom nach Hause – ein Fingerslide und die Drohne fliegt automatisch entsprechend den Vorgaben in der App zum Startpunkt zurück und landet dort selbstständig. Das Hindernis-Erkennungssystem sorgt dabei dafür, dass Hindernisse autonom umflogen werden. Bilder: DJI



die Kamera das gewünschte Ziel, z. B. den Skiläufer oder Mountainbiker erfassen (Bild 15). Die Mavic z. B. erkennt selbstständig, um welche Bewegungsart es sich anschließend handelt und passt den nun folgenden Kameraflug automatisch diesem Bewegungsablauf an. Sie kann also z. B. unterscheiden, ob es sich um ein Auto, einen Menschen auf dem Fahrrad oder ein Tier, z. B. ein Reitpferd, handelt, und wählt eine dazu passende Bewegungsstrategie bei der Objektverfolgung aus. Zusätzlich kann ein steuernder Pilot das Objekt z. B. manuell umkreisen oder spezielle Videofunktionen wie präzises Abstandhalten oder das Wechseln des Aufnahmewinkels aktiv steuern.

Der Active-Track-Modus hat den älteren Follow-Me-Modus inzwischen weitgehend abgelöst. Dieser orientiert sich allein am von der in Bewegung befindlichen Fernsteuerung ausgesandten GPS-Standort-Signal, was in bestimmten Fällen etwas unpräzise sein kann, sodass die Drohne schon einmal das Objekt aus dem Kamerabild verliert.

Ganz sanft – Stativmodus und Cinematic-Modus

Diese Modi hat man sich aus der professionellen Kameraführung im Filmgeschäft abgeschaut. Hier bewegt sich die Drohne nur sehr langsam und alle Steuerbefehle werden stark untersetzt ausgeführt. So erreicht man sehr sanfte und wirkungsvolle Aufnahmen, die man z. B. mit der Zoomfunktion der Kamera kombinieren kann und so eindrucksvolle, ruhige Bildeffekte erzielt.

Beim Cinematic-Modus wird dieser von der Kinoleinwand entlehnte Effekt noch verstärkt, indem bei einem Anhalten des Fluggerätes aus der Bewegung der Bremsweg verlängert und so ein weiches Beenden der Bewegung erzielt wird.

Höhe halten! Der Geländemodus

Im Geländemodus gibt man lediglich Flugrichtung und einzuhaltende Flughöhe vor, dann fliegt die Drohne selbstständig unter Zuhilfenahme der Hinderniserkennung (Bild 16) dem Geländeprofil nach. Hindernisse werden gezielt in der Bildverarbeitung analysiert und entsprechend um- oder überflogen.



Bild 15: Das Ziel fest im Blick und hinterher! Im Active-Track-Modus verfolgt die Drohne selbstständig ein zuvor per Kamera fixiertes Ziel. Bild: DJI

Fest im Blick – der Point-of-Interest-Modus

Diesen Effekt kennt man vor allem aus Dokumentarfilmen, wo er oft als wirkungsvolles filmisches Werkzeug eingesetzt wird: Die Kamera umfliegt langsam und mit weichem Bildlauf ein festes Objekt. Fast immer ist hier bei den Profis bereits eine Drohne im Spiel. Man startet, bringt die Drohne über das Objekt, lässt den Standort abspeichern und setzt die Drohne dann zurück und auf die gewünschte Höhe. Nach dem Start des Modus umkreist die Drohne nun langsam und sehr gleichmäßig das Objekt (Bild 17). Bei Bedarf steuert man Höhe oder Entfernung nach und kann so beeindruckende Bilder erzeugen.



Bild 14: Erst mit der App entfaltet die Drohne ihre wahren Möglichkeiten. Dazu wird das Smartphone oder ein Tablet an der Fernbedienung befestigt und per Kabel mit dieser verbunden. Ein Blendschutz unterstützt bei starker Sonneneinstrahlung.

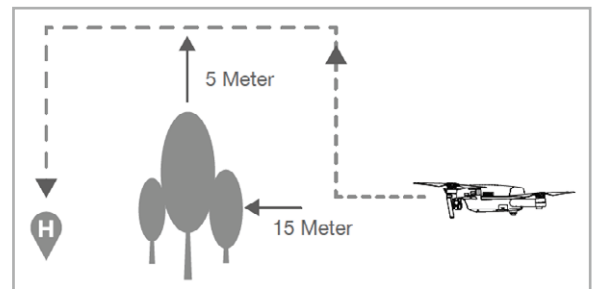


Bild 16: Im Geländemodus gibt man das Ziel vor und die Drohne fliegt autonom dorthin. Dabei weicht sie Hindernissen mithilfe der ToF- (Time of Flight) und Kamerasensoren autonom aus. Bilder: DJI



Bild 17: Im Point-of-Interest-Modus umkreist umkreist die Drohne selbstständig ein Ziel, die Kamera ist auf dieses gerichtet. Bild: DJI



Bild 18: Die Geste für das Auslösen des automatischen Drohnen-Selfies. Bild: DJI

Und klick! Der Gesten-Selfie

Natürlich können Sie mit jeder Drohne im Fotomodus ein Selfie produzieren, aber wie sieht das denn aus, wenn man sich mit der Fernsteuerung in der Hand fotografiert. Dafür gibt es den Gestenmodus. Man richtet die Drohne vor sich in der gewünschten Entfernung aus, wählt den Gestenmodus, startet die Erkennung durch Winken und löst den Selbstausröser durch die typische Selfie-Geste (Bild 18) aus.

Diese wenigen Beispiele zeigen bereits, welche Möglichkeiten die aufwendige Technik an Bord einer gut ausgestatteten Kamera-Drohne bietet. Hier haben professionelle Kameraführungstechniken Pate gestanden, die nun auch dem ambitionierten Amateurfilmer zur Verfügung stehen. Mit ein wenig Übung und Sammeln einiger Erfahrung kann man wirklich beeindruckende eigene Videofilme und spektakuläre Fotos produzieren.

Das führt uns dazu, auch noch einen Blick auf die Kamertechnik der Drohnen zu werfen.

Die Kameras – klangvolle Namen

Die Kamera an Bord entscheidet hauptsächlich über die Qualität der Aufnahmen – eine Binsenweisheit, die nicht alles ist, wie wir noch sehen werden. Eine (Full-)HD-Kamera gehört selbst bei einfachsten Kameradrohnen heute zur Grundausstattung. Die Spreu trennt sich vom Weizen bei den hochwertigeren Kameradrohnen. Hier gehört mindestens 2,7 K, also 2704x1520 Pixel bei 24/25/30 Bildern je Sekunde zum guten Ton. Fast alle Drohnen der oberen Preisklassen haben bereits den noch leistungsfähigeren 4-K-Modus



Bild 20: Namhafte Kamerabestückung auch bei Yuneec mit der 1-Zoll-Hochleistungskamera Leica ION L1 Pro. Hier ist auch das Schnellwechsel-Gimbal mit 360-Grad-Bereich zu sehen. Bild: Yuneec



Bild 19: Absolut professionell unterwegs mit Hasselblad-Kamera nach Studionorm – die Mavic Pro 2 (rechts). Links die Mavic 2 Zoom mit der flexiblen Zoomkamera an Bord. Bild: DJI

oder den Voll-Cinema-4-K-Modus mit 4096x2160 Pixeln bei 24 Bildern je Sekunde an Bord. Kamerasensoren bis in den 1-Zoll-Bereich mit Auflösungen bis 20 Megapixel im Videomodus und 48 Megapixel im Fotomodus sind selbst bei Kompaktdrohnen wie der aktuellen DJI Mavic 2 Pro verbaut. Hier fällt ein klangvoller Herstellername auf: Hasselblad (Bild 19). Tatsächlich ist hier eine sehr hochwertige Kamera des Typs Hasselblad L1D-20c verbaut, die auf einem 1-Zoll-Sensor mit 20 Megapixel Auflösung basiert. Die Kamera hat einen Blendenbereich von F2.8 bis F11 und gibt das hochwertige Kino-Farbprofil 10-Bit-Dlog-M sowie 10-Bit-HDR-Video aus. Die Kooperation mit dem schwedischen Profi-Studiokamera-Hersteller lohnt sich, denn die Mavic 2 Pro ist ein Erfolgsmodell und wird selbst von Filmprofis eingesetzt. Die Kamera liefert spektakuläre, extrem farbtreue und kontrastreiche Bilder dank der „Hasselblad Natural Color Solution“-Technik (HNCS). Hier wird der Dynamikbereich der Farben entsprechend des Motivs ständig neu geregelt, Farben werden nach einer speziellen Farbtabelle in der Farbbalance gerendert. 16 Bit Farbtiefe bieten eine Bildqualität nahe am Analogfilm. Ergebnis ist ein eigenes Hasselblad RGB-Farbprofil, das farb- und kontraststarke Bilder in höchster Qualität liefert.

Der schärfste DJI-Konkurrent Yuneec bietet für seine Typhoon-Drohnen hochprofessionelle und ebenfalls kinofähige Kameras an, so die gemeinsam mit der Leica Kamera AG entwickelte ION L1 Pro (Bild 20). Diese Kamera wurde speziell für die Luftbildtechnik entwickelt und liefert mit einem 1-Zoll-CMOS-Sensor 4-K-Videos mit bis zu 60 Bildern je Sekunde sowie Fotos mit 20 Megapixel Auflösung. Die Software funktioniert so, wie es ein Fotograf gewohnt ist. Halbautomatische Modi, ISO-Werte oder Belichtungsintervalle wurden zum Beispiel denen einer normalen Kamera nachempfunden.

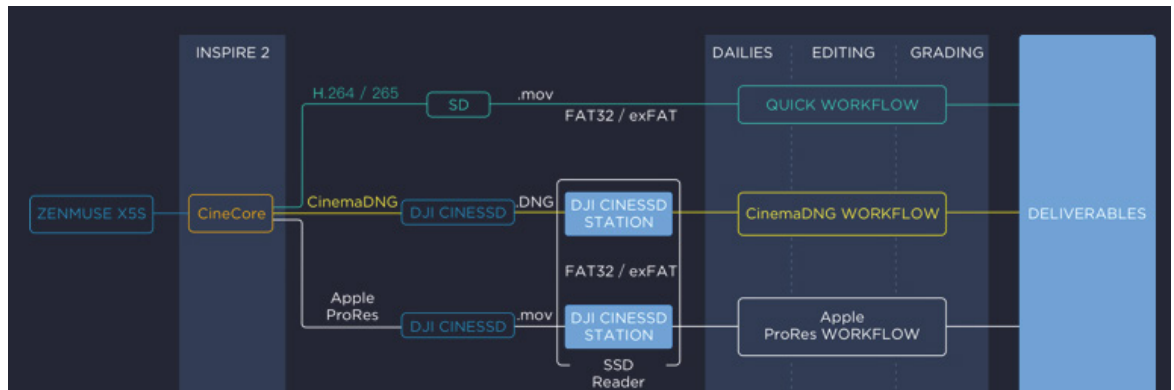
Ebenso spannend liest sich die Ausstattung der speziell für die professionelle DJI Inspire 2 entwickelten Kamera Zenmuse X7 (Bild 21). Sie ist eine professionelle Super 35 Kamera für das Kinoformat. Der 24-Megapi-



Bild 21: Profi-Kamera für das Kinoformat – die Zenmuse X7 kann mit Wechselobjektiven vielseitig eingesetzt werden. Bild: DJI



Bild 22: Die Inspire 2 kann Videos in CinemaDNG und Apple ProRes aufnehmen.
Bild: DJI



xel-Sensor verfügt über eine extrem hohe Lichtempfindlichkeit mit 14 Blendstufen Dynamikumfang und bietet CinemaDNG RAW in 6 K sowie Apple ProRes in 5,2 K. Weiterhin können kontinuierliche Serienbilder im RAW-Format bei 20 Bildern je Sekunde aufgenommen werden. Bild 22 zeigt den nahtlos anschließenden professionellen Nachbearbeitungsprozess, den diese Kamera ermöglicht. Erstmals steht hier auch eine ganze Reihe von Wechselobjektiven mit festen Brennweiten dank dem von DJI entwickelten DL-Mount zur Verfügung.

Die frei stehende Kamera ist in ein 3-Achs-Gimbal eingebaut, das um 360 Grad drehbar ist und so die Kamera extrem flexibel macht.

Entscheidendes Detail – das Gimbal

Ein für Kameradrohnen (auch für den Preis der Drohne) ganz entscheidendes Detail ist der Kameraträger, das Gimbal. Dieser Träger hat mehrere Funktionen. Zum einen trägt er die Kamera und bewegt sie über integrierte Antriebe in verschiedene Positionen. Einfache Gimbals realisieren nur ein vertikales Neigen und Heben (Bild 23), andere zusätzlich ein horizontales Schwenken. Diese Art Gimbal ist teilweise in das Gehäuse der Drohne integriert, somit ist der Sichtwinkel begrenzt und die Drohne muss zum Rundumschwenk gedreht werden. Vom Gehäuse der Drohne abgesetzte Gimbals wie das der oben erwähnten Zenmuse X7 oder das der Leica ION L1 Pro ermöglichen horizontale 360-Grad-Schwenks, ohne dass sich die Drohne selbst bewegen muss. Das sichert natürlich ein noch ruhigeres Bild ohne jeglichen Versatz, der beim Bewegen des Fluggeräts immer entstehen kann. Denn genau das, die Übertragung von Bewegungen und vor allem von antriebsbedingten Vibrationen auf die Kamera zu verhindern, ist die zweite Aufgabe des Gimbals. Es entkoppelt die Kamera mechanisch vom Fluggerät. Mangelhaft entkoppelte Kameras liefern ein flimmerndes, unruhiges Bild, das unterscheidet die aufwendige Konstruktion von der billigen Ausführung. Im schlimmsten Fall überträgt sich auch das Rotorbild durch zu tiefe Anordnung der Kamera im Gehäuse ins Bild, sodass ständig Unruhe im Bild herrscht.

Einfache und damit preiswerte Drohnen besitzen keinen solchen Gimbal, im besten Fall, wie in Bild 24 zu sehen, ist ein Neigen und Heben der Kamera (Tilt-Funktion) möglich, bei noch preiswerteren Modellen ist die Kamera fest im Gehäuse verbaut.



Bild 23: Macht den Unterschied – ein hochwertiges Gimbal unterdrückt Vibrationen und ermöglicht eine Kamerastabilisierung in mehrere Richtungen.



Bild 24: Einfache Kameraausrüstung ohne Gimbal und allein mit Tilt-Funktion

Spezialisten unter der Drohne

So vielseitig Drohnen eingesetzt werden, so vielseitig müssen auch ihre Nutzlasten sein – wir reden hier weiter von Kameras. Neben den hochwertigen Videokameras gibt es zahlreiche Spezialkameras. Blicken wir hier einmal in das Angebot von Yuneec. Hier finden wir neben der E50 (Bild 25), eine Kamera mit einer Brennweite von 40 mm für die Inspektion in sicherem Abstand mit der zusätzlichen Möglichkeit einer flexiblen Filterbestückung, auch Spezialisten für Wärmebildaufnahmen und Restlichtkameras für Aufnahmen bei Dunkelheit. Wie die CGOET (Bild 26), die sich besonders für Such- und Rettungseinsätze sowie dem Aufspüren von Wärme-/Kälteleckagen in Anlagen und Gebäuden oder Brandherden eignet. Diese Spezialkameras lassen sich dank Hot-Swap-Fähigkeit des Gimbals schnell wechseln und ermöglichen so eine hohe Produktivität.

Apropos Filter. Nahezu alle Kameras in Drohnen der höheren Preisklassen können mit ND-Filtern bestückt werden. Hier ist je nach Einsatzzweck eine große Anzahl, ähnlich wie in der normalen Fotografie, verfügbar. Sie können Son-



Bild 25: Leistungsstarke Kamera für Film- und Inspektionseinsätze – die E50 mit einer Brennweite von 40 mm. Bild: Yuneec



Bild 26: Zwei Kameras in einer – mit der Kombination aus Wärmebild- und Restlichtkamera eignet sich die CGOET hervorragend für Such- und Rettungseinsätze. Bild: Yuneec



Bild 27: Komplexe Sensorausstattung für Hinderniserkennung und Orientierung oder einfacher Distanzsensor – auch darin unterscheiden sich die Drohnenklassen. Links eine einfach ausgestattete Drohne der 250-Euro-Preisklasse, diese trägt an der Front nur LEDs. Rechts die Sensoren der Mavic Pro. Hier gibt es zusätzlich Sensoren für die Hinderniserkennung nach vorn.

neneinstrahlung oder Reflexionen ebenso ausblenden wie Farbverfälschungen, Polarisierungseffekte usw.

Teuer oder preiswert?

Steigt man als Hobbyflieger neu ein beim Drohnenfliegen, ist man schnell vor die Preisfrage gestellt. Reicht eine 49-Euro-Videodrohne mit HD-Kamera oder muss es die 1400-Euro-Drohne mit allen technischen Raffinessen sein? Zusätzlich muss man für sich die Frage klären, ob man in der unter-250-g-Klasse bleiben will, die keine Restriktionen der EU-Drohnenverordnungen erfordert, oder ob man sich diesen unterwerfen will. Für das Erlernen des Fliegens und den nur ganz gelegentlichen, eher spielbetonten Einsatz genügt tatsächlich der preiswerte Einstieg, zumal man hier auch gezwungen ist, das Handwerk des Steuerns von Grund auf zu lernen. Zwar schweben nahezu alle Drohnen selbstständig, aber alle sonstigen Flugmanöver müssen händisch geflogen werden. Gute Einstiegsmodelle, die neben guten Flugeigenschaften auch für den Anfang brauchbare Videoaufnahmen abliefern, sind z. B. die Modelle von Eachine wie etwa die E58 oder die E520S, die das Mavic-Design auffällig nachahmen. Die Qualität der Videos und Fotos ist eher bescheiden, so stören Vibrationen und Windeinflüsse mitunter schon deutlich, auch, wenn z. B. bei Eachine Kameras mit bis zu 4 K an Bord sind.

Hat man allerdings ernsthaftere Ambitionen auf gute Videos und Fotos in Freizeit und Urlaub, kommt man um gut ausgestattete und leistungsstärkere Modelle – im Übrigen auch mit hoher Akkukapazität für Flüge um 30 Minuten – kaum herum. Auch hier gibt es, wie aus den bisherigen Ausführungen schon zu schließen, sehr unterschiedliche Modelle. Das erste Unterscheidungsmerkmal ist zunächst die Ausstattung mit Sensorik und der zugehörigen Steuerungssoftware. Gute Sensorausstattung, Bild 27 zeigt den unmittelbaren Vergleich zweier unterschiedlich ausgestatteter Modelle, ist die Grundvoraussetzung für viele spannende Flug- und Filmmodi. Während einfachere Drohnen nur einen Sensor für die Start- und Landeunterstützung, vielleicht noch Kompass und GPS an Bord haben, verfügen andere Modelle über eine vollständige und vorwiegend kamerabasierte Sensorausstattung für die Orientierung im Raum und zur

Hinderniserkennung – inklusive einer Art Radardarstellung auf dem App-Bildschirm, sodass der Pilot kontrollieren kann, ob ein Hindernis erkannt ist. Zudem erlaubt die leistungsstarke Sensorik eine sehr hohe Präzision bei der Schwebefluggenauigkeit. Hier sind 10 cm Genauigkeit horizontal und vertikal auch in der Mittelklasse, z. B. bei der Mavic Air, der Maßstab. Hat das Modell GPS an Bord, stehen dann oft bereits viele automatisierte Flugmodi für den Videoflug zur Verfügung. Fehlt die kamerabasierte Umgebungsorientierung, sind einfache Modelle hier begrenzt, da sie Hindernisse gar nicht oder weniger exakt erkennen.

Auch die funktechnische Ausstattung kann sich erheblich unterscheiden. Hier reicht die Spanne von einfachster 2,4-GHz-Fernsteuerung über WiFi-Verbindungen, die zusätzlich die Videoübermittlung erledigen, bis hin zu ausgeklügelten Frequenzhopping-Synchronisations-Systemen, die auch leistungsmäßig an die Grenzen gehen. Ein Beispiel dafür sind die Mavic Pro-Drohnen mit ihren Systemen, z. B. dem OcuSyn2.0-Langstrecken-Videoübertragungssystem für die Videoübertragung. Außerdem werden dort getrennte Frequenzbereiche für Steuerung und Videoübertragung verwendet.

Mit dieser ausgefeilten Funktechnik werden technische Reichweiten bis zu 10 km erreicht – ein gewaltiges Sicherheitspolster. Dazu kann man hohe Video-Bitraten bis zu 40 MBit/s sowie geringe Latenzzeiten bis herab auf 120 ms bei der Livebild-Übertragung und Liveansichten in FullHD erreichen – für viele Einsätze mit Echtzeitkontrolle unabdingbar. Die Onboard-Videoaufnahme ist dabei noch leistungsfähiger, Aufzeichnungsraten bis 120 MBit/s sind hier ab der Mittelklasse verfügbar, auch die Speicherkarte an Bord sollte diesen Anforderungen genügen.

Ein gewisses Gewicht, eine starke Motorisierung, einhergehend mit leistungsstarker Akkutechnik trägt auch dazu bei, dass die Drohne wenig windanfällig ist und ruhig in der Luft liegt. Mit einem maximalen Windwiderstand von 38 km/h geht dies schon in den Bereich einer frischen Brise.

Der Hauptzweck leistungsfähiger Drohnen im Freizeitbereich liegt in guten Video- und Fotoaufnahmen. Im Kapitel zu den Kameras haben wir schon diverse Unterscheidungsmerkmale der Kameras selbst aufgeführt. Entscheidend ist aber auch, wie dort schon angedeutet, die Anbringung der Kamera. Modelle ohne Gimbal, die vielleicht auch nur einen vertikalen Schwenk (Tilt) erlauben, haben eindeutig Nachteile gegenüber aufwendigen und gut entkoppelnden 3-Achs-Gimbal-Aufhängungssystemen. Noch besser sind nur die 360-Grad-Gimbals der professionellen Systeme. Lohn des Aufwands sind ruhige Aufnahmen.

All diese Merkmale führen eben zu signifikanten Preisunterschieden, auch wenn sich viele Modelle inzwischen ähnlich sehen – so sind das Klappdesign und viele andere optische Details allgemein verbreitet.

Sehr unterschiedlich sind auch die Steuerungen, insbesondere die App-Steuerungen. Hier gibt es Open-Source-Software, die von verschiedenen Herstellern genutzt und nur unterschiedlich in der grafischen



Oberfläche aufgepeppt und manchmal eher mangelhaft an das Drohnenmodell angepasst ist. Professioneller geht es da bei den Marktführern und deren selbst entwickelten Apps zu. So zählt u. a. eine sehr aufwendig gestaltete Kamerakonfiguration und -steuerung, wie sie **Bild 28** als kleines Beispiel zeigt, zur Norm. Schließlich sprechen diese Fluggeräte eine Nutzerschicht an, die sich oft bereits mit leistungsstarker traditioneller Kamerafotografie auskennt und die gleichen Möglichkeiten erwartet, wie sie moderne Digitalkameras bieten.

Wenn man sich nun eine solche hochwertige Drohne für den nächsten Urlaub anschaffen möchte, kann man durchaus über den reichhaltig bestückten Gebrauchtmittelmarkt einsteigen. Denn zahlreiche Nutzer fliegen ihre Drohne nur eine Saison, etwa, wenn sie eine besondere Urlaubsform ausgesucht haben. Hier sollte man sich das Fluggerät aber vor dem Zahlen vorführen lassen – zu oft werden auch durch Abstürze, Wasserlandungen usw. beschädigte Drohnen zu verdächtig günstigen Preisen angeboten.

Wir wünschen gute Flüge und spannende Aufnahmen.

ELV

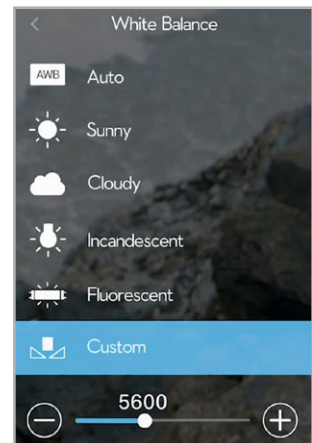


Bild 28: Umfangreiche Kameraeinstellungen sind ein Kennzeichen einer guten Kameraausrüstung. Bild: DJI



Weitere Infos:

- [1] <https://www.betterplace.org/de/projects/61300-multicopter-in-der-drk-wasserrettung>
- [2] Drohnen – Hightech in der Luft, ELVjournal 5/2016, <https://www.elv.com>: Artikel-Nr. 205922
- [3] Die neue Drohnenverordnung der EU:
<https://www.kopterzentrale.de/blog/60-die-neue-eu-drohnenverordnung>
- [4] Informationsseite des LBA:
https://www.lba.de/DE/Luftfahrtpersonal/Unbemannte_Fluggeraete/FAQ/FAQ_Drohnenfuehrerschein_12_20/FAQ_node.html

Alle Links finden Sie auch online unter: de.elv.com/elvjournal-links

Mein ELVprojekt

Viele Ideen für Ihr Smart Home

Bei uns erwarten Sie viele spannende, ausführlich beschriebene Projekte für Einsteiger und Profis. Diese Projekte haben wir als Produktmanager und Techniker alle selbst erfolgreich umgesetzt.

Wir zeigen Ihnen z. B., wie Sie für mehr Komfort und Energieeinsparung Rollläden automatisieren, mit einer intelligenten Heizungssteuerung Energiekosten sparen oder Ihr Zuhause vor Einbrechern wirkungsvoll schützen können.

Dabei erhalten Sie nicht nur Informationen zum geschätzten Zeitaufwand und dem Schwierigkeitsgrad – alle verwendeten Produkte aus unserem Sortiment werden für Sie auch übersichtlich aufgeführt. Dazu finden Sie für viele Projekte hilfreiche Installationsvideos. Setzen Sie Ihr Projekt mit ELV erfolgreich um!



Alle Projekte finden Sie online unter:

de.elv.com/elvprojekte at.elv.com/elvprojekte ch.elv.com/elvprojekte