



Sabrina Herrmann • Francis Markert

Drohnen

Die große Fotoschule



Technik
Planung
Inspiration



Fotografieren und Filmen mit Drohnen
Ausrüstung, Flugplanung, Aufnahmetechniken
Drohnenrecht verständlich erklärt

Checklisten und Anleitungen für Flugübungen zum Download

Impressum

Dieses E-Book ist ein Verlagsprodukt, an dem viele mitgewirkt haben, insbesondere:

Lektorat Juliane Neumann, Annette Graeber

Korrektorat Annika Holtmannspötter, Münster

Typografie und Layout Christine Netzker

Herstellung E-Book Maxi Beithe

Covergestaltung Silke Braun

Coverfotos Sabrina Herrmann, Francis Markert

Satz E-Book Christine Netzker

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-8362-9321-1

1. Auflage 2023, 1. Nachdruck 2023

© Rheinwerk Verlag GmbH, Bonn 2023

Liebe Leserin, lieber Leser,

der wohl attraktivste Anwendungsbereich von Drohnen ist das Fotografieren und Filmen aus der Vogelperspektive. Was früher Profis in Kleinflugzeugen und Hubschraubern vorbehalten war, ist heute allgemein zugänglich. Mit Drohnen kann selbst dort operiert werden, wo kein Hubschrauber fliegen darf. Und es werden ungewohnte Ansichten und visuelle Tricks möglich, die Ihre Kreativität herausfordern.

Basis für Kreativität sind Technik und Handwerk. Und damit beginnen Sabrina Herrmann und Francis Markert in ihrem Buch. Sie lernen die Funktionsweise von Drohnen kennen und erhalten wertvolle Hinweise, worauf Sie beim Kauf achten sollten. Im nächsten Schritt heben Sie mit der Drohne ab: Die Autoren sind quasi Ihre Fluglotsen und begleiten Sie von den Vorbereitungen über die ersten Flugübungen bis hin zu anspruchsvolleren Manövern. Mit den Anleitungen und Tipps aus dem Buch sowie Ihrer wachsenden Erfahrung fliegen Sie auch bei Wind und in herausfordernder Umgebung souverän. Und Sie wissen, wann die Drohne am Boden bleiben sollte. Zu den Grundlagen gehört natürlich auch das Drohnenrecht. Was ist erlaubt und was zu beachten, in Deutschland und auf Reisen? Die Autoren haben selbst schon viele Länder der Erde mit der Drohne im Gepäck bereist und geben ihre Erfahrungen an Sie weiter. So ausgerüstet steht Ihnen die Welt kreativer Fotos und Videos mit der fliegenden Kamera offen: weite Landschaften, Architektur, Dronies, Panoramen, visuelle Illusionen, fesselnde Drohnenvideos und vieles mehr!

Aus einem Hobby kann auch mehr werden: Das praktische Wissen aus dem Buch können Sie nicht nur für kunstvolle Fotos und Videos nutzen, sondern auch für berufliche Zwecke: im Bauwesen, der Kartografie, im Rettungswesen oder in der Forst- und Landwirtschaft. Welche Einsatzgebiete es gibt und wie Ihre ersten Schritte in das berufliche Drohnenfliegen aussehen könnten, erfahren Sie ab Seite 281.

Sollten Sie Hinweise, Anregungen, Kritik oder Lob an uns weitergeben wollen, so freue ich mich über Ihre E-Mail. Zunächst wünsche ich Ihnen aber viel Spaß und Erfolg mit Ihrer Drohne!

Ihre Juliane Neumann

Lektorat Rheinwerk Fotografie

juliane.neumann@rheinwerk-verlag.de

www.rheinwerk-verlag.de

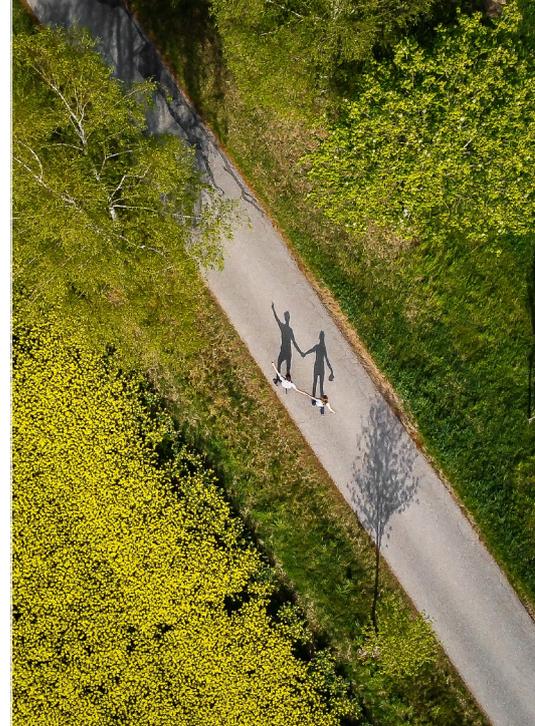
Rheinwerk Verlag · Rheinwerkallee 4 · 53227 Bonn



Inhalt

Vorwort	12
1 DIE FLIEGENDE KAMERA	15
1.1 Der Aufstieg der Fotodrohnen	16
1.2 Was ist eine Drohne?	18
Definition der unterschiedlichen Begriffe	21
1.3 Welche Bautypen sich zum Fotografieren eignen	21
Starrflügler	22
Multicopter	22
Die Achsen einer Drohne	24
1.4 Die Funktionsweise eines Multicopters	24
Starten und Landen	26
Vor- und Rückwärtsflug (Nicken)	27
Seitliche Flüge (Rollen)	27
Rotation um eigene Achse (Gieren)	28
1.5 Das Gehirn einer Drohne	28
Flightcontroller	29
Sensoren	29
Navigation deluxe	30
Hinderniserkennung	32
1.6 Das Geheimnis stabiler Aufnahmen	34
Digitale Bildstabilisierung	34
Mechanische Stabilisierung mit Gimbals	35
1.7 Der richtige Umgang mit Akkus	37
Akkus richtig laden	37
LiPo-Akkus als Risiko	38
Transport von LiPo-Akkus	39
Die richtige Lagerung	39
EXKURS LiPo-Akkus in Zahlen	40
Cool bleiben?	41
Entsorgung	41

1.8	On Air: Vorschau der Kameraperspektive	42
	Displays an der Fernsteuerung	42
	FPV-Brillen	43
	Steuerung per Smartphone	45
	EXKURS Der Datenspeicher	46
1.9	Die erste eigene Drohne	49
	Was haben Sie vor?	49
	Das Gewicht der Drohne	52
	Welches Budget steht zur Verfügung?	53
	Was muss die Kamera können?	53
2	DIE ERSTEN EIGENEN FLÜGE	57
2.1	Ready for takeoff	58
	Versicherungsschutz klären	58
	Sich als Drohnenbetreiber*in registrieren	59
	Bedienungsanleitung lesen	60
	Akkus laden	60
	Propeller montieren	60
	Flug-Apps laden	61
	Funkverbindung herstellen	61
	Firmware aktualisieren	62
2.2	Der erste Flugort	62
	Flugorte zum Üben finden	62
	Flugort inspizieren	64
	Drohne startklar machen	65
	Systeme überprüfen	65
	Failsafe-Prozeduren konfigurieren	66
2.3	Die Fernsteuerung verstehen	67
	Die wichtigsten Steuerelemente	67
	Telemetriedaten	68
2.4	Die ersten Flugübungen	69
	Starten und Landen	70
	Strecken	72
	Rechtecke	72
	Kreise	73
	Acht	74
	Flughöhe variieren	74





Natürlicher Strecke folgen	74
Dronie	75
Return To Home	76
Die Hand als Start- und Landeplattform	77
2.5 Training mit dem Flugsimulator	79
EXKURS Menschliche Faktoren während des Fluges	80

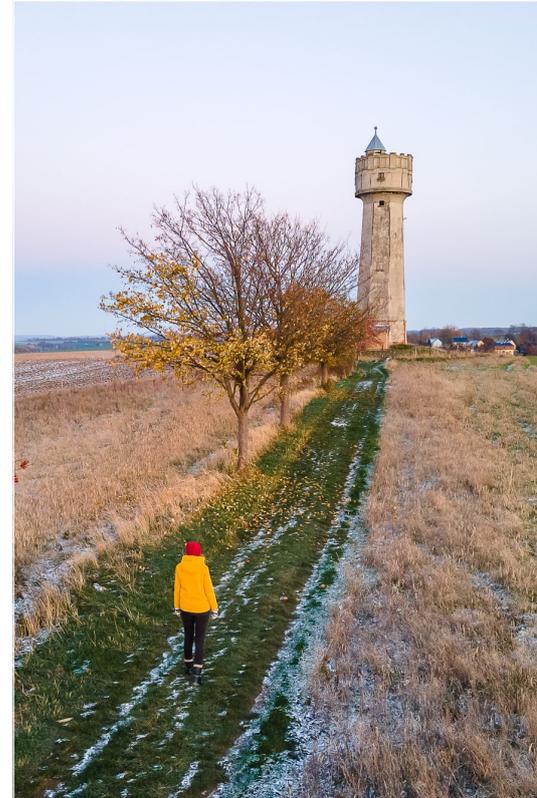
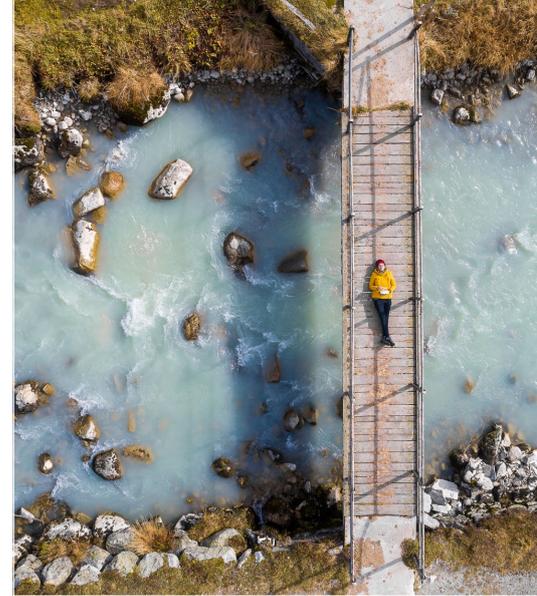
3 HERAUSFORDERNDE FLUGBEDINGUNGEN

3.1 Extreme Wetterlagen	86
Wind	86
Niederschläge und Gewitter	90
Temperaturen und die Luftdichte	92
3.2 Fliegen im Winter	95
Für das eigene Wohlbefinden sorgen	95
Handhabung der Akkus bei Kälte	96
Flüge bei eisigen Bedingungen und feuchtem Wetter	97
Achtung: Vereisungsgefahr	97
3.3 Von einem Boot starten	98
Mit Trockenübungen beginnen	98
Eignung der Drohne	98
Den richtigen Standort auf dem Boot finden	100
Notfallszenario festlegen	102
Flug durchführen	104
3.4 Fliegen an Wasserfällen	105
Feuchtigkeit	107
Umgebung und Untergrund	107
Satellitenkommunikation	108
3.5 Fly-Away verhindern	109
Vorbeugen	109
Im Ernstfall reagieren	110
3.6 Außergewöhnliche Situationen bewältigen	111
Verlust des Sichtkontaktes	111
Störung der Funkverbindung	113
Unerwartete Reaktionen der Drohne auf Steuersignale	114

3.7 Äußere Einflussfaktoren verstehen	115
Einflüsse auf die Flugzeit	115
Einflüsse auf die Reichweite	116
Einflüsse auf die Manövrierfähigkeit	117
EXKURS Quellen für die Wetterauskunft	118

4 NEUE PERSPEKTIVEN ENTDECKEN

4.1 Planung von Luftaufnahmen	122
Warum gutes Timing wichtig ist	123
Die Goldene Stunde	125
Die Blaue Stunde	126
Mittagszeit	126
Nebel	126
4.2 Bildaufbau	127
Der Goldene Schnitt	127
Die Drittel-Regel	128
Regeln zum Bildaufbau in der Praxis	129
Formate geschickt nutzen	130
Was ist eigentlich mein Motiv?	131
4.3 Bilder richtig belichten	132
Belichtungszeit	133
Blende	135
Sensorempfindlichkeit	135
Das magische Dreieck	138
Belichtungswerte einstellen	138
Belichtungskorrektur und Belichtungsmesser	139
Histogramm	140
4.4 Faktoren für das perfekte Foto	141
Fokussieren auf das Wesentliche	141
Fotoauflösung	142
Realitätsnahe Farbwiedergabe	142
Das richtige Dateiformat	143
Fotomodis	144
4.5 Besonderheiten bei Luftaufnahmen	147





4.6	Filter in der Luftbildfotografie	148
	UV-Filter	148
	Polfilter	148
	ND-Filter	150
	Effektfilter	151
	Filter gezielt einsetzen	151
4.7	Der Blick nach unten	151
	Bodenständig bleiben	151
	Top-Down-Aufnahmen	152
	Auf der Suche nach Motiven	153
	EXKURS Motive im Jahresverlauf	164

5 FOTOTECHNIKEN FÜR PROFIS 167

5.1	Mehr zeigen mit Panoramen	168
	Sphären-Panorama	169
	180°-Panorama	169
	Horizontales Panorama	170
	Vertikales Panorama	170
	Panoramen manuell erzeugen	171
5.2	Intervallaufnahmen	173
	Bildraten für Intervallaufnahmen	173
	Die richtigen Fotoeinstellungen	174
5.3	HDR-Fotografie	177
5.4	Langzeitbelichtungen	180
	Tipps für Bilder ohne Verwacklungen	180
	Langzeitbelichtung Bildidee 1:	
	Psychedelische Perspektiven	181
	Langzeitbelichtung Bildidee 2: Nachtaufnahmen	183
	Langzeitbelichtung Bildidee 3: Tageslicht	184
	Langzeitbelichtung Bildidee 4: Lightpainting	185
5.5	Kreative Schatzkiste	188
	Menschen in Aktionen	188
	Illusionen erzeugen	188
	Spiele-Paradies	189
	Am Wasser	190
	EXKURS Droneceptions	191

6	SPANNENDE DROHNENVIDEOS ERSTELLEN	197
6.1	Mit der Planung beginnen	198
	Es beginnt mit der Idee	199
	Eine Geschichte entwickeln	199
	Die Geschichte in Videosequenzen übersetzen	202
	Vorbereitungen treffen	203
6.2	Kameraeinstellungen zum Filmen	205
	Auflösung	205
	Bildwiederholungsrate	205
	Belichtung in der Videografie	206
	EXKURS Farbprofile verstehen	209
	Color Correction	210
	Color Grading	210
6.3	Überraschungsmomente schaffen mit Flugmanövern	211
	Standard-Manöver	211
	Offenbarung	211
	Kran	212
	Neigung	212
	Dronie	213
	Point of Interest	214
	Panorama	214
	Kurvenflug	214
	Überflug	215
	Bewegungen filmen	216
	Manöver kombinieren	217
	Der Einsatz des Zooms beim Filmen	217
6.4	Flugmanöver automatisieren	218
	EXKURS Probleme bei Luftaufnahmen beheben	220
	Rolling-Shutter- und Jello-Effekt	220
	Propellerschatten	222
	Propeller im Bild	223





7	DROHNENRECHT VERSTEHEN	225
7.1	Europäische Regeln	226
	Ziele der EU-Verordnungen	226
	Betriebskategorien	228
	Registrierungspflicht	228
	Offene Kategorie	229
	Spezielle Kategorie	240
	Zulassungspflichtige Kategorie	241
7.2	Deutsches Luftrecht	242
	Geografische UAS-Gebiete in Deutschland	242
	Der Luftraum über Deutschland	249
	Zuständigkeiten in der Übersicht	253
	Versicherung für Drohnen	253
	Abschließende Gedanken zum Luftrecht	255
	EXKURS Tipps für die Praxis	256
	Flüge in Innenstädten	256
	Flüge bei Veranstaltungen	257
	Flüge in der Nacht	258
7.3	Medienrecht	261
	Allgemeines Persönlichkeitsrecht	261
	Datenschutz	263
	Urheberrecht	263
	Musik	265
8	MIT DROHNEN VERREISEN	267
8.1	Planung vor der Reise	268
	Andere Länder, andere Sitten	268
	Packen für die Drohnenreise	270
8.2	Der richtige Transport im Flugzeug	273
8.3	Vor Ort fliegen	274
	Herausforderungen im Ausland	275
	Erweisen Sie Respekt	276
	Drohnen auf Kreuzfahrtschiffen	278
8.4	Reisereportagen erstellen	278

9	DROHNEN BERUFLICH EINSETZEN	281
9.1	Allgemeine Perspektive	282
9.2	Gewerbliche Luftbildfotografie und -videografie	283
9.3	Technologien für Profis	285
	Thermografie	285
	Multispektralkameras	288
	Photogrammetrie	288
	Lasermessungen mit LiDAR	288
	D-GNSS	289
	Softwaregestützte Datenauswertung	290
9.4	Anwendungen in Industrie, Handwerk und Gewerbe	290
	Bauwesen	290
	Vermessung, Kartografie und Volumenermittlung	292
	Inspektion	293
	EXKURS Rettungswesen und BOS-Einsätze	295
9.5	Drohnen in der Forst- und Landwirtschaft	297
	Rehkitze retten	297
	Pflanzengesundheit bestimmen	299
	Schädlinge bekämpfen	300
	Fazit zum Einsatz von Drohnen in der Land- und Forstwirtschaft	301
9.6	Missionsplanung	303
	Glossar	304
	Index	313



VORWORT

Bereits 2014 hielten wir das erste Mal eine Drohne in unseren Händen. Ein Bekannter hatte uns einen sperrigen Quadrocopter ausgeliehen, der noch nicht über eine fest verbaute Kamera verfügte. Notdürftig montierten wir eine Actionkamera, um dennoch Bilder aus der Luft einfangen zu können.

Als wir schließlich die so erstellten Videos sichteten, waren wir absolut verblüfft. Plötzlich waren wir in der Lage, die Welt aus einem ganz neuen Blickwinkel zu sehen. Es kam ein Gefühl auf, als würden wir unsere Welt neu entdecken, und bisherige Grenzen unserer Wahrnehmung lösten sich auf. Bei dieser mitreißenden Perspektive rückte für uns die Tatsache, dass die Videos verwackelt und unscharf waren, vollkommen in den Hintergrund.

Wenige Wochen später starteten wir eine Weltreise – natürlich mit unserer eigenen Drohne. Wir wollten die vielen Sehenswürdigkeiten der Welt auf eine neue Art und Weise verewigen und diese Aufnahmen im Internet auf unserem Reiseblog veröffentlichen. Doch wir standen vor vielen Herausforderungen. Lässt sich die Technik optimieren, um eine bessere Performance während des Fluges und eine bessere Aufnahmequalität zu erreichen? Wie können wir die Drohne sicher transportieren? Welche Regeln sind in den verschiedenen Ländern zu berücksichtigen? Für die Beantwortung dieser und unzähliger weiterer Fragen war viel Rechercheaufwand notwendig. Zugleich erreichten uns aus unserer Community immer mehr Fragen, die auch uns zuvor beschäftigten. Also beschlossen wir, unser Drohnenwissen – zunächst auf unserem Reiseblog – zu teilen. So entstanden mehrere Hundert Fachartikel zum Drohnenfliegen. Irgendwann



wurde das Thema so umfangreich, dass wir ein eigenes Internetprojekt dazu auf die Beine stellten. Seitdem bündeln wir alle wichtigen Ressourcen auf der Webseite *Drohnen-Camp.de*. Mittlerweile helfen wir jeden Monat Zehntausenden Fernpilot*innen mit unserer Arbeit beim sachgerechten Einsatz ihrer Fluggeräte.

Während wir auf *Drohnen-Camp.de* vor allem technische und rechtliche Themen beleuchten, wollen wir in diesem Buch auch die kreativen Aspekte beim Drohnenfliegen hervorheben.

Die imposanten Perspektiven, die uns Drohnen ermöglichen, strahlen eine Faszination aus, der sich kaum jemand entziehen kann. Dabei werden die Flieger immer kompakter, günstiger und einfacher zu bedienen. Der Blick von oben wird für immer mehr Menschen erschwinglich. War für die Erstellung von Luftaufnahmen früher sehr viel mehr Planung und der kostspielige Ein-

satz von Flugzeugen bzw. Helikoptern erforderlich, kann man mittlerweile sehr spontan und mit geringen Kosten beeindruckende Bilder einfangen. Das betrachten wir als eine fantastische Entwicklung. Die Vogelperspektive ist nun nicht mehr wenigen Pilot*innen vorbehalten, sondern steht allen Interessierten jederzeit zur Verfügung.

Doch trotz der technischen Entwicklungen entstehen atemberaubende Bilder selbst mit der besten Kamera- Drohne nicht von allein. Viele verschiedene Faktoren bestimmen, ob ein Foto handwerklich gut gelungen und zugleich ein künstlerischer Anspruch erkennbar ist. Im Internet kursieren unzählige Fotos und Videos, die mit Drohnen aufgenommen wurden. In vielen Fällen müssen wir jedoch feststellen, dass das technische und gestalterische Potenzial bei Weitem nicht ausgeschöpft ist und deutlich mehr Spielräume genutzt werden könnten.

Diese Beobachtung war für uns die Motivation dazu, dieses Buch zu verfassen. Wir möchten Sie dabei unterstützen, die Technik von Drohnen und Kameras zu verstehen, Herausforderungen im Flugbetrieb zu meistern und fotografische Grundlagen zu verinnerlichen. Nach der Lektüre werden Sie in der Lage sein, eine Drohne selbstsicher zu steuern sowie Fotos und Videos zu produzieren, die Sie stolz vor Freunden und der Familie präsentieren können. Und wenn Sie der Ehrgeiz packt und Sie größere Ziele verfolgen, finden Sie ein eigenes Kapitel dazu, wie Sie Drohnen beruflich einsetzen können.

Die folgenden neun Kapitel sollen eine Einladung an Sie sein, die Welt mit all ihren pulsierenden Farben und erstaunlichen Mustern mit neuen Augen zu sehen. Wir möchten Sie in die faszinierende Welt der Drohnenfotografie entführen und Inspirationen für Ihren eigenen kreativen Schaffensprozess anbieten.

Vielleicht gelingt es uns mit unserer Arbeit, Ihrer Vorstellungskraft Flügel zu verleihen und Ihnen einen neuen Blick auf die Wunder der Natur zu eröffnen. Wir sind gespannt, mit welcher individuellen Sichtweise Sie die Schönheit unseres Planeten festhalten werden. Es würde uns sehr freuen, wenn Sie uns daran teilhaben lassen. Nutzen Sie bei Instagram gern den Hashtag *#drohnencamp*, um Ihre Aufnahmen mit uns zu teilen, oder senden Sie uns Ihre besten Werke per E-Mail an

buch@drohnen-camp.de. Wir können es kaum erwarten, Ihre Fotos und Videos zu sehen. Viel Spaß beim Lesen und Erkunden unserer Welt!

Herzlichst
Sabrina Herrmann und Francis Markert

<https://drohnen-camp.de>

<https://www.instagram.com/drohnencamp>

<https://www.facebook.com/drohnencamp>

BEISPIELVIDEOS UND DOWNLOADMATERIAL

An mehreren Stellen widmen wir uns der Erstellung von Videos. Da Sie in einem Buch selbstverständlich keine Filme abspielen können, haben wir Ihnen für die beschriebenen Flugmanöver jeweils ein Beispiel auf unserer Webseite <https://drohnen-camp.de/buch-videos> hochgeladen. Öffnen Sie diese Seite also gern, wenn Sie an den entsprechenden Stellen angekommen sind.

Im Downloadmaterial zu diesem Buch finden Sie außerdem eine Entscheidungshilfe für den Drohnenkauf, ein Handout mit Flugübungen sowie eine Checkliste zur Vorbereitung von Drohnenflügen. So gelangen Sie zum Downloadmaterial: Unter www.rheinwerk-verlag.de/drohnen-die-grosse-fotoschule finden Sie im grau hinterlegten Kasten den Reiter **Materialien zum Buch**. Dort können Sie alle zur Verfügung gestellten Materialien herunterladen.

AUFNAHMEDATEN

Zu vielen Bildern werden die wichtigsten technischen Aufnahmedaten angegeben – Drohnenmodell, Brennweite, Blendenöffnung, Belichtungszeit, ISO-Wert sowie verwendete Techniken und Filter. Die Brennweite wurde nicht in das Kleinbildäquivalent umgerechnet. Diese Angaben können Sie als Orientierung für Ihre eigenen Aufnahmen nutzen.



The image features a top-down aerial view of a tropical coastline. On the left, a sandy beach is scattered with large, smooth, reddish-brown rocks. The water is clear and shallow, revealing the sandy bottom. On the right, a dense line of palm trees and other tropical vegetation borders the shore. A large, semi-transparent white rectangular area is centered over the image, containing the chapter title and a short paragraph of text.

KAPITEL 1

DIE FLIEGENDE KAMERA

Aus der Drohnenperspektive begeistern einzigartige Landschaften auf eine ganz eigene Weise. In diesem Kapitel lernen Sie die Funktionsweise von Kameradrohnen kennen und erfahren, auf welche technischen Daten Sie beim Kauf einer Drohne achten sollten.

DIE FLIEGENDE KAMERA

Bevor wir in die faszinierende Welt der Drohnenfotografie einsteigen, benötigen Sie zunächst ein gutes Verständnis der zugrunde liegenden Technik. In diesem Kapitel lernen Sie die wichtigsten Fachbegriffe kennen und erfahren, worauf Sie beim Kauf einer Kameradrohne achten müssen.

1.1 Der Aufstieg der Fotodrohnen

Es ist ein uralter Traum der Menschheit, durch die Luft zu fliegen und die Welt aus einer neuen Sicht zu erkunden. Schon in den frühen Hochkulturen regte der Traum vom Fliegen die Fantasie der Menschen an. Denken wir nur an den griechischen Sagenhelden Ikarus oder die Luftschraube des italienischen Universalgenies Leonardo da Vinci. Alle beflügelte die Idee, die Welt einmal von oben zu betrachten.

Im letzten Jahrhundert wurde der Traum vom Fliegen zur Wirklichkeit. Heute erlauben uns Flugzeuge innerhalb weniger Stunden der Heimat zu entfliehen und andere Länder zu bereisen. Fliegen ist zu einer Selbstverständlichkeit geworden. Und dennoch: Die Faszination für Luftaufnahmen ist geblieben. Der Blick aus der Luft fesselt uns und macht jede Szenerie umso spannender.

Nun haben nicht alle Fotograf*innen einen Hubschrauber zur Hand, und wer auf Dienstleister zurückgreifen muss, sollte einen mittleren vierstelligen Eurobetrag einkalkulieren – pro Stunde!

Doch zum Glück hat sich in den letzten Jahren eine weitere Möglichkeit herauskristallisiert, wie sich Luftaufnahmen erstellen lassen. Natürlich sprechen wir an dieser Stelle von Kameradrohnen.

Drohnen sind mittlerweile zum Allzweckwerkzeug für (professionelle) Medienschaffende geworden, da die kleinen Flieger enorme Vorteile gegenüber den zuvor genannten Optionen haben. So sind Drohnen kompakter, kostengünstiger, einfacher zu manövrieren und können auch bei schwierigem Terrain eingesetzt werden – um nur einige wesentliche Vorteile zu nennen.

Dabei entwickelte sich die Technik innerhalb weniger Jahre in einem rasanten Tempo. Als wir im Jahr 2014 unsere ersten Flugversuche starteten, gab es keine Drohnen mit brauchbarer integrierter Kamera. Stattdessen mussten wir vor jedem Flug aufwendig eine Actionkamera (GoPro Hero 4 Black Edition) an der Drohne befestigen. Vor jedem Aufstieg waren wir etwa eine Viertel Stunde damit beschäftigt, alle erforderlichen Komponenten zu montieren und zu verkabeln.

Eine Steuerung der Kamera während des Fluges war nicht möglich, genauso wenig konnten wir am Boden eine Vorschau der Kameraperspektive sehen. Uns blieb nichts anderes übrig, als die Kamera am Boden einzuschalten (Video und/oder Serienaufnahme) und darauf zu hoffen, dass das Motiv im Bild war. Ob die Entfernung zum Objekt gut gewählt war, stellte insbesondere zu Beginn ein Glücksspiel dar. Unser räumliches Vorstellungsvermögen hat sich dadurch enorm verbessert. Wir lernten schnell, die Entfernungen besser einzuschätzen.



⤴ **Abbildung 1.1**

Während unserer Weltreise im Jahr 2015 nutzten wir unsere Actionkamera nicht ausschließlich für Luftaufnahmen. So mussten wir die GoPro vor jedem Start erst an das Gehäuse unserer DJI Phantom 2 montieren.

Dennoch konnte es für viel Enttäuschung sorgen, wenn wir am Abend nach einem Ausflug unsere Aufnahmen gesichtet haben. Selbst wenn wir das Motiv gut erwischt, war der Horizont bei 4K-Aufnahmen durch das Fischaugenobjektiv krumm und die Videosequenzen teilweise verwackelt.

Zwar waren wir damals trotz alledem begeistert von unseren Aufnahmen, die in dieser Zeit entstanden sind. Die Möglichkeit, Fotos aus der Vogelperspektive aufnehmen zu können, faszinierte uns bei jedem Flug aufs Neue. Doch heute entsprechen solche Aufnahmen nicht mehr dem Stand der aktuellen Technik.

Selbstverständlich merkten die Hersteller, dass es einen Handlungsbedarf gab, und präsentierten ihre Lösungen für das Problem. Heute können Sie kaum noch eine Drohne erwerben, die ohne eine integrierte Kamera auskommt. Für die meisten Pilot*innen sind das gute Nachrichten. Heute sparen wir uns nicht nur wertvolle



⤴ **Abbildung 1.2**

Ein erstes Selfie mit der DJI Phantom 2 auf dem Little Adams Peak in Sri Lanka. Hier hatten wir noch keine Bildübertragung zur Fernsteuerung. Um zu sehen, ob das gewünschte Motiv im Bild war, nutzten wir für derartige Aufnahmen die Live-Vorschau der GoPro-App per Bluetooth-Übertragung. So war es realisierbar, den gewünschten Ausschnitt zu wählen. Allerdings waren dadurch keine großen Reichweiten möglich. Schon nach wenigen Metern unterbrach die Bildübertragung.

DJI Phantom 2 mit GoPro Hero 4 Black | 3 mm | f2,8 | 1/1500s | ISO 100

Zeit bei der Montage der Flugausrüstung, sondern können auch vom Boden aus das Livebild der Kamera verfolgen und alle wichtigen Kameraparameter beeinflussen. Dazu kommen noch ausgereifte Sicherheitsfunktionen, die das Fliegen mit einer Drohne heute so einfach gestalten wie nie zu vor. Gleichzeitig werden Drohnen immer



« **Abbildung 1.3**

Um die Aufnahmen zu stabilisieren, haben wir unsere DJI Phantom 2 zusätzlich mit einem Gimbal (Zenmuse H3-3D) ausgerüstet. Dazu mussten wir die Drohne aufschrauben und das Gimbal eigenständig verkabeln.



« **Abbildung 1.4**

Wer hat hier das Sagen? Beim Kampf um die Vorherrschaft auf dem Markt setzen sich faltbare Kameradrohnen immer mehr durch.

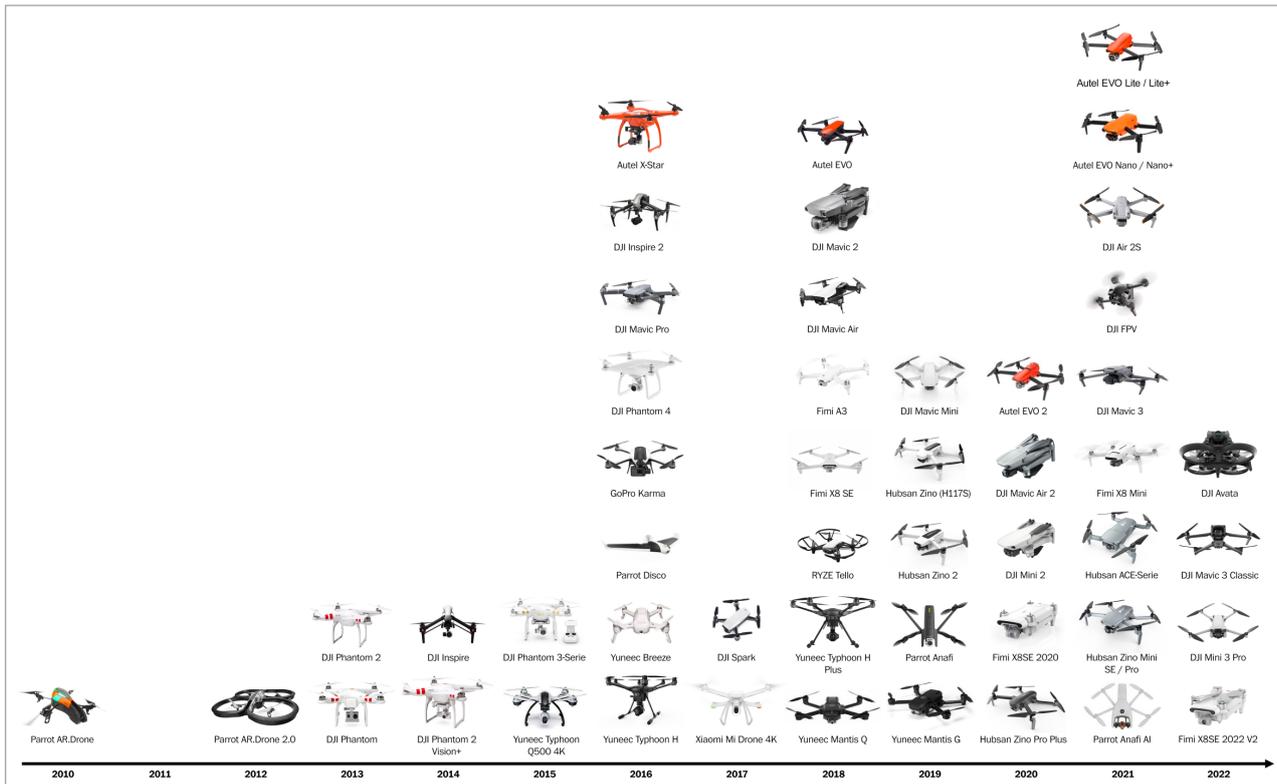
kleiner und kompakter, sodass sie gut bei einem Ausflug mitgenommen werden können.

Drohnen sind mittlerweile ein zuverlässiger Partner für Fotografinnen und Fotografen. Wir möchten Sie mit diesem Buch dazu einladen, die vielfältigen Möglichkeiten zu nutzen, die uns diese technischen Wunderwerke bieten. Um dieses Potenzial ausschöpfen zu können, lernen Sie alle erforderlichen Grundlagen kennen und erhalten jede Menge Inspiration für Ihr kreatives Schaffen.

1.2 Was ist eine Drohne?

Zwar können heutzutage alle etwas mit dem Wort *Drohne* anfangen, doch die Bedeutung ist nicht immer unumstritten gewesen.

Ursprünglich bezeichnet man mit einer Drohne eine männliche Honigbiene. Im technischen Zusammenhang assoziierten viele den Begriff mit tödlicher Militärtechnik und es gab insbesondere beim Aufkommen der zivilen



⚡ **Abbildung 1.5**

Die Drohnentechnik hat sich im letzten Jahrzehnt rasch weiterentwickelt. Die ersten erwähnenswerten Drohnen für Privatpersonen brachte der französische Hersteller Parrot auf den Markt. 2014 revolutionierte die DJI Phantom die Welt der Kameradrohnen. Sie besaß zwar noch keine integrierte Kamera, bot jedoch die Möglichkeit, eine Actionkamera in die Luft zu heben. 2015 folgte der große Durchbruch vom neuen und fortan bleibenden Marktführer. DJI stellte die Phantom-3-Reihe mit integrierter Kamera vor und die kleinen Flugobjekte eroberten den Himmel. In den folgenden Jahren entwickelten sich die Kameradrohnen stetig weiter – sie lernten, Hindernissen auszuweichen, wurden kleiner und faltbar. Zudem wurden die Kameras von Mal zu Mal besser. Es bleibt spannend, wohin die Reise der fliegenden Kameras noch geht. (Abbildung enthält Fotos von den jeweiligen Hersteller-Webseiten.)

Drohnen ein Bedürfnis, sich vom militärischen Kontext zu lösen.

Dennoch kann nicht bestritten werden, dass sich der Begriff »Drohne« mittlerweile für alle unbemannten Fahrzeuge in der Gesellschaft etabliert hat – unabhängig vom Verwendungszweck. Die Politik, Hersteller, Medien und auch die meisten Anwender*innen sprechen heute von Drohnen.

Wer immer noch darauf pocht, dass das Wort Drohnen nur tödliche Kampfmaschinen umfasst, verkennt, dass sich Sprache weiterentwickelt. Zudem können wir festhalten, dass wir in der Zivilgesellschaft viele Dinge nutzen, die für das Militär entwickelt wurden, ohne dafür nach neuen Begriffen suchen zu müssen. Einige dieser Erfindungen sind Konservendosen, Klebeband, Krankenwagen oder Computer.



⤴ **Abbildung 1.6**

Lieferdrohnen haben das Potenzial, die Logistik zu revolutionieren. Schon heute gibt es spannende Projekte, die sich die Technik zunutze machen. (Foto: EHang)



⤴ **Abbildung 1.7**

Durch Passagierdrohnen ergeben sich vollkommen neue Wege für den Nahverkehr. Doch bevor solche Bilder für uns zum Alltag werden, benötigt es eine ausgereifte Infrastruktur und vor allem gesellschaftliche Akzeptanz. (Foto: EHang)



⤴ **Abbildung 1.8**

Nicht nur in der Luft, auch in Gewässern werden Drohnen schon für diverse professionelle Zwecke eingesetzt. So können Unterwasserdrohnen in der Aquakultur das Geschehen im Fischgehege überwachen, zur Meeresforschung eingesetzt werden oder bei Inspektionsdiensten unter Wasser helfen. Wo sich früher Taucher in gefährliche Gewässer begeben mussten, übernehmen heute moderne Drohnen einige dieser Aufgaben. Auch Meereslebewesen können Sie mithilfe der Tauchroboter hautnah erleben. So werden auf Ausflugsschiffen Live-Videos von der Unterwasserwelt gezeigt, Orca-Schulen bei der Jagd nach Heringen beobachtet oder Superkorallen am Great Barrier Reef gesucht. (Foto: Blueye Robotics)

Im zivilen Umfeld werden Drohnen immer präsenter. In Europa nutzen Logistikunternehmen Drohnen zum Ausliefern von Paketen, in Afrika werden Medikamente und Blutkonserven damit verteilt und der flächendeckende Einsatz als Flugtaxi wird in einigen Jahren keine Besonderheit mehr sein.

Dabei sind Drohnen nicht nur in der Luft anzutreffen. Auch andere Fahrzeuge wie Boote und Autos können sich ohne Menschen an Bord fortbewegen.

Alle Formen von Drohnen – egal ob in der Luft, an Land oder im Wasser – haben zwei Gemeinsamkeiten:

1. Sie bewegen sich autonom oder ferngesteuert fort.
2. Es befindet sich kein*e Pilot*in auf/innerhalb des Fahrzeugs.

Diese zwei Kriterien sind entscheidend, ob es sich bei einem Verkehrsmittel um eine Drohne handelt oder nicht. Selbst Modellautos und -boote können als Drohnen bezeichnet werden.

Definition der unterschiedlichen Begriffe

In diesem Buch konzentrieren wir uns auf fliegende Drohnen, für die es einige ähnliche Bezeichnungen gibt, die wir in diesem Kapitel noch erläutern wollen. Die verschiedenen Begriffe werden häufig als Synonyme verwendet. Doch wir möchten an dieser Stelle die Unterschiede herausheben, damit es nicht zu Fehlinterpretationen kommt.

Beginnen wir mit den *unbemannten Fluggeräten*. Dahinter verbirgt sich der in Deutschland gültige juristische Oberbegriff für alle Flugdrohnen. Die unbemannten Fluggeräte unterteilen sich in *Flugmodelle* und *unbemannte Luftfahrtsysteme*. Die Unterscheidung der beiden Begriffe sollte Ihnen geläufig sein, auch wenn es nach juristischer Haarspalterei klingt. Am Ende ist die Einteilung gar nicht so kompliziert.

Als *Flugmodelle* werden alle Drohnen bezeichnet, die für die Freizeitgestaltung bzw. für sportliche Zwecke eingesetzt werden. Alle anderen Drohnen fallen automatisch

unter den Begriff der *unbemannten Luftfahrtsysteme*. Eine Einteilung erfolgt also nicht anhand technischer Spezifikationen oder einer Risikobeurteilung, sondern definiert sich allein durch die Nutzungsart. Man kann sich sicherlich streiten, wie sinnvoll das sein mag. Ohnehin sind die rechtlichen Auswirkungen gering, wie Sie in Kapitel 7, »Drohnenrecht verstehen«, sehen werden.

ENGLISCHE BEGRIFFE UND ABKÜRZUNGEN

Neben den deutschen Wörtern begegnen uns häufig englische Begriffe und ihre Abkürzungen. Die wichtigsten wollen wir hier kurz nennen:

- *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* bedeutet unbemanntes Fluggerät. Bei UAVs spricht man immer nur von dem Flugobjekt, also der Drohne in der Luft.
- Mit *Unmanned Aerial System (UAS)* und *Remotely Piloted Aircraft System (RPAS)* ist das ganze System inklusive der Fernsteuerung und dem Monitor am Boden gemeint. Ein UAV ist somit eine Teilmenge von einem UAS.
- Fahrerlose Bodenfahrzeuge bezeichnet man als *Unmanned Ground Vehicle (UGV)*.
- Bei unbemannten Booten spricht man von *Unmanned Surface Vehicles (USV)* bzw. von *Autonomous Underwater Vehicles (AUV)* für U-Boote.

1.3 Welche Bautypen sich zum Fotografieren eignen

Schon jetzt ist klar: Drohne ist nicht gleich Drohne. Selbst in der Luft gibt es verschiedene technische Ansätze, die dafür sorgen, dass eine Drohne fliegt. Vor allem müssen die Starrflügler von den Multicoptern unterschieden werden.

Starrflügler

Bei *Starr-* bzw. *Nurflüglern* gibt es wie bei einem klassischen Flugzeug Tragflächen, die bei einer Vorwärtsbewegung für den notwendigen Auftrieb sorgen. Ein Propeller am Heck reicht damit als Antrieb aus.

Der große Vorteil dieser Konfiguration besteht darin, dass bei gleicher Akkuleistung eine deutlich längere Flugzeit erreicht werden kann. Der wesentliche Nachteil fürs Fotografieren und Filmen besteht jedoch darin, dass ein Starrflügler immer in einer Vorwärtsbewegung sein muss, da er sonst seinen Auftrieb verliert. Daher ist es kaum möglich, in Ruhe einen gewünschten Bildausschnitt zu wählen. Wer Aufnahmen mit einem Starrflügler anfertigen möchte, steht also vor ganz besonderen Herausforderungen. Dazu kommen die höhere Windanfälligkeit und die Schwierigkeit, dass ein Starrflügler nicht vertikal nach oben fliegen kann und für Starts und Landungen eine



⤴ **Abbildung 1.9**

Wegen ihrer hohen Reichweite und hervorragenden Gleiteigenschaften werden Starrflügler gern bei industriellen Einsätzen genutzt. Herkömmliche Starrflügler sind in der Luft kontinuierlich in Bewegung und somit zum gezielten Aufnehmen einzelner Motive ungeeignet. (Foto: AgEagle)

gewisse Flugschneise benötigt. Dadurch können diese Bautypen nicht in allen Umgebungen eingesetzt werden. Nichtsdestotrotz haben Starrflügler ihre Daseinsberechtigung. Insbesondere bei gewerblichen Anwendungen wie der Logistik oder bei der Erkundung weitläufiger Flächen punkten Starrflügler durch die großen Reichweiten. Wenn Sie Fotos oder Videos aufnehmen wollen, sollten Sie lieber auf einen anderen Bautyp zurückgreifen.

Multicopter

Die beliebtesten Drohnen bei Medienschaffenden sind *Multicopter*, und vermutlich haben Sie auch einen Multicopter vor dem geistigen Auge, wenn Sie das Wort Drohne hören. Bei einem Multicopter (oder kurz Copter) sorgen mehrere nach oben ausgerichtete Propeller dafür, dass das Fluggerät fliegt. Die beliebtesten Modelle sind mit vier Propellern ausgestattet. Man spricht dann von einem *Quadcopter* bzw. *Quadrocopter*. Fast der gesamte Markt besteht aus Quadrocoptern, da sie ein gutes Verhältnis zwischen Gewicht, Flugleistung und tragbarer Nutzlast aufweisen. Es gibt neben den Quadrocoptern noch weitere Konfigurationen, die nach der Anzahl der Propeller bezeichnet werden.

Bautyp	Anzahl Propeller
 Bicopter	2
 Tricopter	3
 Quadrocopter (auch Quadcopter)	4
 Hexacopter	6
 Octocopter	8

⤴ **Tabelle 1.1**

Bezeichnungen von Coptern abhängig von der Anzahl der Propeller. Während Bi- und Tricopter als absolute Exoten anzusehen sind, werden Hexa- und Octocopter überwiegend im professionellen Umfeld genutzt.

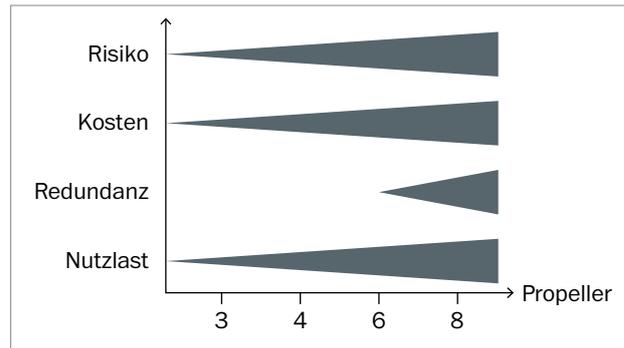
DEFINITION: NUTZLAST

Als *Nutzlast* werden alle Komponenten einer Drohne bezeichnet, die nicht für die Flugsteuerung verwendet werden (sollen). Ob die Komponenten dauerhaft montiert sind oder austauschbar sind, spielt dabei keine Rolle. Typischerweise handelt es sich um Kamerasysteme, aber auch Lautsprecher und Flutlichter zur Personensuche sind Beispiele für Nutzlasten.

Je mehr Propeller eine Drohne hat, desto schwerer wird das Fluggerät natürlich und umso leistungsstärkere Akkus sind erforderlich, um die gleiche Flugdauer zu erreichen. Auf der anderen Seite können viele Propeller für mehr Auftrieb sorgen und schwerere Nutzlasten heben. Deswegen kommen Systeme mit vielen Propellern insbesondere dann zum Einsatz, wenn komplexe Kamerasysteme oder spezielle Sensoren gebraucht werden (siehe Tabelle 1.1).

Außerdem hat eine hohe Anzahl an Propellern den Vorteil, dass der Ausfall eines einzelnen Motors durch die anderen Propeller kompensiert und die Drohne kontrolliert gelandet werden kann. Diese Redundanz sorgt folgerichtig für eine erhöhte Sicherheit während des Flugbetriebes. Drohnen mit sechs oder mehr Propellern können den Ausfall eines einzelnen Propellers ausgleichen. Wenn wir die Eigenschaften eines Copters abhängig von der Anzahl der Propeller vergleichen, so wie wir es eben gemacht haben, dient dieser Vergleich nur zur Erklärung der Grundprinzipien auf theoretischer Ebene. In der Praxis werden Sie immer Modelle finden, die aus diesem Schema ausbrechen. Der hier angebrachte Vergleich funktioniert nur, wenn alle anderen Komponenten des Fluggerätes identisch sind.

Egal für welchen Bautyp Sie sich entscheiden: Alle Multicopter haben gegenüber Starrflüglern wichtige Vorteile. So können Multicopter vertikal starten und landen, wodurch sie auch in herausforderndem Terrain zum Einsatz kommen können. Ein Start am Fuße eines Wasserfalls in einem zugewachsenen Tal ist problemlos möglich. Multicopter können zudem an einer Position verharren (*Hovern*). Diese Möglichkeit, das Fluggerät ganz punktuell



⚡ Abbildung 1.10

Welche Vor- und Nachteile bringt es, wenn eine Drohne mit vielen Propellern ausgestattet ist? Diese schematische Darstellung versucht sich in einer Antwort. Systeme mit mehr Propellern (und damit mehr Gewicht) unterliegen aufgrund des steigenden Risikos höheren rechtlichen Auflagen.



⚡ Abbildung 1.11

Die Arme und Propeller der Parrot Anafi lassen sich so zusammenklappen, dass die Kameradrohne in eine etwa wasserflaschengroße Hülle passt und leicht in einem Rucksack verstaut werden kann.

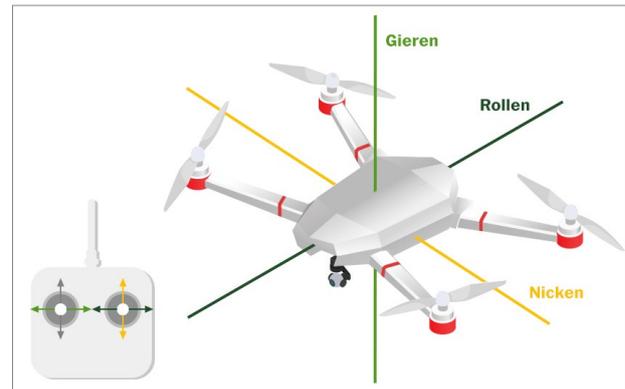
VORTEILE DER BAUTYPEN IM ÜBERBLICK

Vorteile von Starrflüglern:

- hohe Reichweite
- lange Flugzeit

Vorteile von Multicoptern:

- vertikale Starts möglich
- punktueller Einsatz möglich
- kompakte Abmessungen beim Transport
- Flug in jede beliebige Richtung möglich
- weniger anfällig für Wind



⤴ **Abbildung 1.12**

Die Hoch-, Quer- und Längsachse stehen in einem rechten Winkel zueinander und schneiden sich im Schwerpunkt des Fluggerätes.

einzusetzen, macht den Copter zu dem perfekten Werkzeug für die Foto- und Videografie.

Nicht zu unterschätzen ist auch die Kompaktheit von Multicoptern. Mittlerweile verfügen die meisten Drohnen dieser Art über Propellerarme, die sich für den Transport einklappen lassen. Das Equipment beansprucht in der Tasche deutlich weniger Platz. Somit werden Drohnen viel häufiger bei Ausflügen mitgenommen. Die sperrigen Tragflächen eines Starrflüglers sind bei einer Wanderung eher unpraktisch.

Beim Betrachten der Vorteile der verschiedenen Bautypen wird schnell klar, dass zum Fotografieren und Filmen die Multicopter die bessere Wahl sind. Daher werden wir uns im weiteren Verlauf des Buches in erster Linie auf den Einsatz von Multicoptern konzentrieren.

In der Industrie gibt es mittlerweile Mischformen (Hybride), die die Vorteile der Starrflügler mit denen der Multicopter kombinieren. Doch für Medienschaffende werden diese Konstellationen unserer Einschätzung nach in absehbarer Zeit keine Rolle spielen.

Die Achsen einer Drohne

Drohnen werden von drei Achsen durchdrungen, die alle in einem rechten Winkel zueinanderstehen: die Längs-, Quer- und Hochachse.

Sowohl bei Starrflüglern als auch bei Multicoptern sind Bewegungen um alle drei Achsen möglich. Bei Bewegungen um die Längsachse spricht man vom *Rollen*. Beim Kippen nach vorn oder hinten ist vom *Nicken* die Rede (Querachse) und die Rotation um die Hochachse wird als *Gieren* bezeichnet.

An dem Punkt, an dem sich alle drei Achsen schneiden, befindet sich der Schwerpunkt des Fluggerätes. Dieser Schwerpunkt kann sich verschieben, wenn Nutzlasten einer Drohne montiert oder entfernt werden. Ein verschobener Schwerpunkt kann die Stabilität des Fluges negativ beeinträchtigen. Deswegen sollten nur Nutzlasten angebracht werden, für die der Hersteller der Drohne eine Kompatibilität bescheinigt.

1.4 Die Funktionsweise eines Multicopters

Damit ein Multicopter die verschiedenen Flugmanöver ausführen kann, ist er auf das Zusammenspiel der *Propeller* angewiesen. Diese essenziellen Bauteile werden auch als *Luftschauben* oder *Rotoren* bezeichnet.

Angetrieben werden die Propeller von *Brushless-Motoren*. Bei dieser Bauart wird die Energie durch Magnet-



⤴ **Abbildung 1.13**

Drohnenpropeller gibt es in den unterschiedlichsten Größen, Farben und Formen (z. B. mit 2, 3 oder 4 Blättern sowie flexibel oder starr).

felder übertragen und kommt ohne einen elektrischen Kontakt zwischen den festen und beweglichen Bauteilen des Motors aus. Aus diesem Grund leiden Brushless-Motoren unter weniger Verschleiß, sind damit langlebiger und haben sich bei Drohnen gegenüber anderen Motortypen durchgesetzt.

Am Beispiel eines Quadrocopters sehen wir uns die Funktionsweise nun genauer an. Durch die Rotation der Propeller sind Drohnen in der Lage, vom Boden abzuheben. Dabei spielt schon allein die Größe der Propeller eine entscheidende Rolle. Je kleiner der Durchmesser der Propeller ist, desto schneller muss sich der Motor bei gleichbleibendem Gewicht drehen, um den gleichen Auftrieb zu erzeugen. Deshalb sind Multicopter mit größeren Propellern tendenziell leiser.

Der Auftrieb erfolgt über die Bewegung der Propeller. Dreht sich der Propeller, drückt dieser auf die ihn umgebende Luft. Diese Luft drückt wiederum den Propeller nach oben, da jede Aktionskraft immer eine Reaktionskraft bewirkt (Drittes Newtonsches Gesetz). Sobald die so erzeugte Auftriebskraft größer ist als die Gewichtskraft des Fluggerätes, beginnt ein Steigflug.

Heutzutage sind die Propeller sehr hochwertig verarbeitet. Früher war es noch notwendig, Propeller auszu-

KRÄFTE BEI EINER DROHNE VERSTEHEN

Die verschiedenen Kräfte, die während eines Fluges wirken, können schnell verwirren. Deswegen erklären wir hier kurz die wichtigsten physikalischen Kräfte.

Unter dem *Schub* versteht man die Kraft, die die Propeller erzeugen. Der Schub wirkt bei Multicoptern nach oben und in die Flugrichtung.

Der *Auftrieb* beschreibt die nach oben gerichtete Kraft. Aus dem Verhältnis zur nach unten gerichteten Gewichtskraft ergibt sich das Flugverhalten:

- Gewichtskraft < Auftrieb = Steigflug
- Gewichtskraft = Auftrieb = Hovern
- Gewichtskraft > Auftrieb = Sinkflug

Bitte verwechseln Sie den Auftrieb nicht mit der *Antriebskraft*, die zum Beispiel bei Straßenfahrzeugen durch Räder übertragen wird und auch horizontal wirken kann.



⤴ **Abbildung 1.14**

Eine DJI Mavic Mini im Schwebeflug

DJI Mavic Air 2 | 4,5 mm | f2,8 | 1/320s | ISO 100

wuchten, um ungewollte Vibrationen zu verhindern. Beim *Auswuchten* sorgt man dafür, dass sich die Masse um den Mittelpunkt des Propellers gleichmäßig verteilt, indem man Material ab- oder aufgetragen hat. Heute spielt das Auswuchten zum Glück kaum eine Rolle mehr.



⤴ **Abbildung 1.15**

Bei diesem Yuneec Typhoon H Hexacopter lassen sich die Propeller durch silberne Ringe einfach den passenden Motoren zuordnen.

An einem Quadrocopter sind immer zwei links- und zwei rechtsdrehende Propeller montiert, wobei sich die Drehrichtung der Propeller nacheinander abwechselt. Bei der Montage der Propeller müssen Sie darauf achten, die Propeller auf den jeweils passenden Motoren zu befestigen! Bei den meisten Herstellern sind die Motoren sowie die Propeller mit dezenten Farbmarkierungen oder einem Buchstaben ausgestattet. Bei genauem Hinsehen finden Sie so schnell den richtigen Propeller für den jeweiligen Motor.

Während des Fluges werden durch unterschiedliche Drehzahlen der Propeller alle denkbaren Richtungswechsel möglich.

Starten und Landen

Bevor eine Drohne abheben kann, müssen Sie als Erstes die Motoren einschalten. Die Propeller bewegen sich mit mittlerer Drehzahl. Das Fluggerät bleibt noch am Boden. Erst die Erhöhung der Drehzahl sorgt dafür, dass die Drohne aufsteigt. Sobald sich die Drehzahl wieder auf einen mittleren Wert verringert, hält der Copter die Position. Bei einer weiteren Verringerung der Drehzahl beginnt ein Sinkflug.

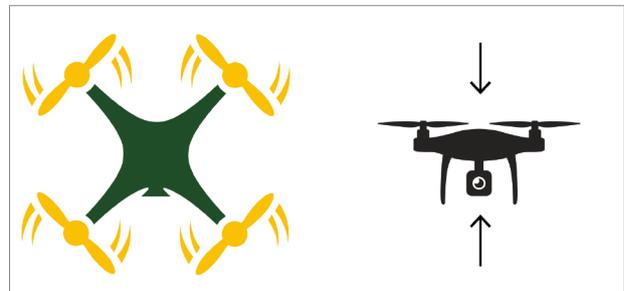
Beim senkrechten Starten, senkrechten Sinken und beim Halten der Position an einer Stelle (Hovern) bewe-

gen sich alle Propeller unter idealen Bedingungen mit der gleichen Drehzahl. So wird sichergestellt, dass das Fluggerät nicht horizontal abdriftet.



⤴ **Abbildung 1.16**

Die Erhöhung der Drehzahl sorgt dafür, dass die Drohne aufsteigt.



⤴ **Abbildung 1.17**

Sobald sich die Drehzahl auf einen mittleren Wert verringert, hält die Drohne die Position.



⤴ **Abbildung 1.18**

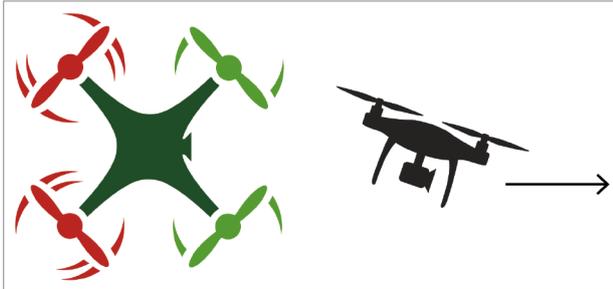
Bei einer weiteren Verringerung der Drehzahl beginnt ein Sinkflug.

Farblegende:

- geringe Drehzahl
- mittlere Drehzahl
- hohe Drehzahl

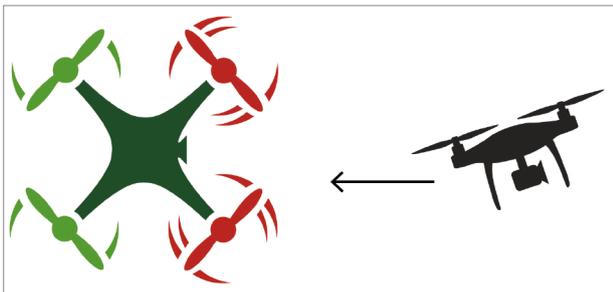
Vor- und Rückwärtsflug (Nicken)

Wenn der Quadrocopter nun in der Luft schwebt und nach vorn fliegen soll, muss sich die Drehzahl der hinteren Propeller erhöhen. Proportional dazu verringert sich die Drehgeschwindigkeit der beiden vorderen Motoren. Für einen Rückwärtsflug kehren sich die Drehzahlen um und die vorderen Propeller drehen sich schneller als die hinteren.



⤴ **Abbildung 1.19**

Wenn die Drohne nach vorn fliegen soll, muss sich die Drehzahl der hinteren Propeller erhöhen. Proportional dazu verringert sich die Drehgeschwindigkeit der beiden gegenüberliegenden Motoren.

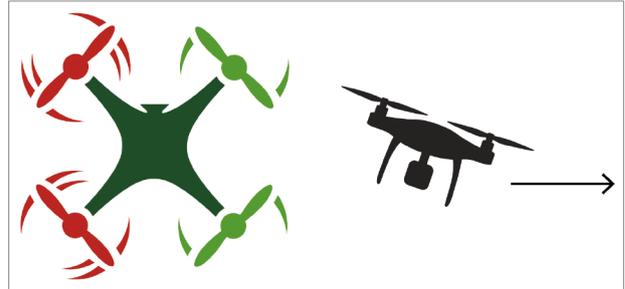


⤴ **Abbildung 1.20**

Bei einem Rückwärtsflug kehren sich die Drehzahlen um und die vorderen Propeller drehen sich schneller als die hinteren Propeller. Die Drohne bewegt sich um die Querachse.

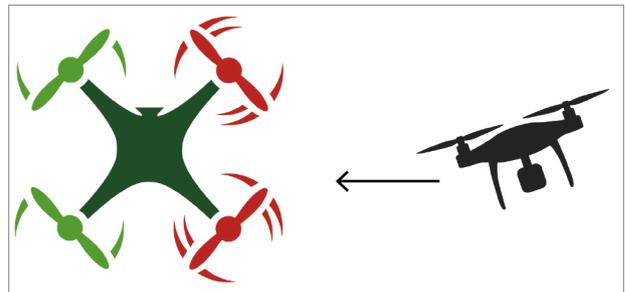
Seitliche Flüge (Rollen)

Ganz ähnlich wie die Vorwärts- und Rückwärtsflüge funktionieren die Bewegungen zur Seite. In den folgenden Abbildungen ist daher nur die Vorderseite der Drohne (und damit auch die Kamera) anders ausgerichtet. Bei einem Flug nach rechts erhöhen sich die Drehzahlen der linken Propeller, bei Flügen nach links die Drehzahlen der rechten Propeller.



⤴ **Abbildung 1.21**

Bei seitlichen Flügen (Rollen) bewegt sich die Drohne um die Längsachse. Um nach rechts zu fliegen, erhöhen sich die Drehzahlen der linken Propeller.

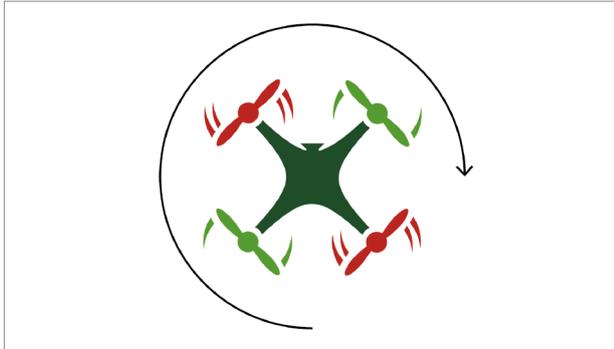


⤴ **Abbildung 1.22**

Wie bei allen Nick- und Rollmanövern muss sich die Drehzahl der anderen Propeller verringern, weil sich sonst die Flughöhe ändern würde.

Rotation um eigene Achse (Gieren)

Ein wenig komplizierter wird es, wenn sich die Drohne um die eigene vertikale Achse (Hochachse) drehen soll. Eine Rotation entsteht dann, wenn sich zwei gegenüberliegende Propeller schneller drehen und sich die anderen beiden Motoren langsamer drehen.



⤴ **Abbildung 1.23**

Die Drohne rotiert, wenn sich zwei gegenüberliegende Propeller schneller und sich die anderen beiden Motoren langsamer drehen.

Sie haben nun gesehen, wie alle denkbaren Flugmanöver zustande kommen. Zum Glück müssen wir als Pilot*innen nicht selbst die einzelnen Motoren ansteuern. Die Bordelektronik übernimmt diesen Part und übersetzt Ihre Steuerbefehle in die richtigen Drehzahlen der einzelnen Motoren. Dennoch ist es hilfreich zu verstehen, wie die Propeller zusammenwirken.

Auch bei den Propellern gibt es verschiedene Konzepte. Früher waren feste und durchgängige Propeller üblich. Seit dem Aufkommen der faltbaren Drohnen lassen sich jedoch auch die Propeller zusammenklappen und müssen nicht mehr zwangsläufig vor jedem Start montiert werden. Neben der Vereinfachung für den Transport und vor dem Start hat dieser Bautyp einen weiteren Vorteil. Trifft ein faltbarer Propeller während des Fluges ungewollt auf ein Hindernis, kann der Propeller nachgeben. Somit kann sich die Drohne schneller wieder stabilisieren. Der Flieger stürzt nicht gleich ab und mögliche Beschädigungen oder Verletzungen fallen nicht ganz so schlimm aus.



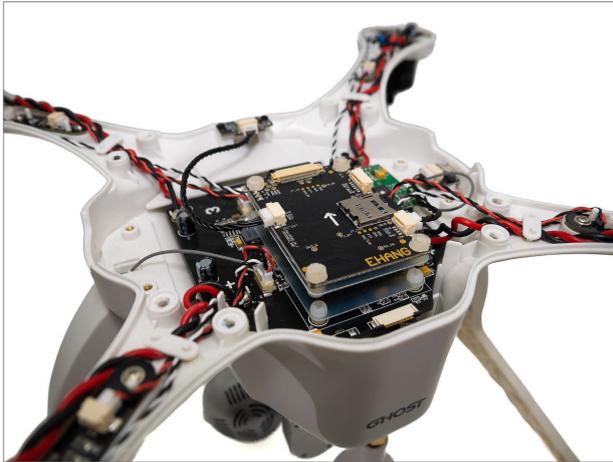
⤴ **Abbildung 1.24**

Die unteren beiden Propeller sind faltbar und machen die Drohne damit deutlich transportabler. Außerdem wird die Wucht bei einem möglichen Zusammenstoß verringert, denn der Propeller kann nachgeben, wenn er auf ein Hindernis trifft.

1.5 Das Gehirn einer Drohne

Wer das erste Mal eine Drohne steuert, ist meistens verblüfft, über welche ausgereifte Funktionen der Flieger verfügt. Diese Funktionen werden von der Bordelektronik ermöglicht. Moderne Copter sind technisch so ausgereift, dass Sie vermutlich niemals das Gehäuse öffnen und die einzelnen Sensoren und Bordcomputer reparieren müssen. Ohnehin erlischt bei so einem Eingriff die Gewährleistung des Herstellers, weshalb Sie derartige Reparaturen dem technischen Support überlassen sollten.

Damit Sie nach der Lektüre dieses Buches dennoch etwas mit den entsprechenden Fachbegriffen anfangen und die Zuverlässigkeit der Systeme besser beurteilen können, wollen wir das »Gehirn« einer Drohne genauer inspizieren. Sie lernen den Flightcontroller kennen und erfahren, mit welchen Sensoren die Drohne ihren eigenen Zustand überwacht. Zudem werfen wir einen Blick auf die Technik, mit der die Drohne die eigene Position bestimmt.



⤴ **Abbildung 1.25**

Wie sieht eigentlich eine Drohne unter dem Gehäuse aus?
Wir haben eine ausgerangte Drohne für Sie aufgeschraubt, um Ihnen den Blick in das Innere zu gewähren.

Flightcontroller

Beginnen wir mit dem *Flightcontroller*, bei dem es sich um den eigentlichen Bordcomputer handelt. Wie Sie bereits gelernt haben, werden die Bewegungen eines Multicopter durch die Drehzahlen der Propeller ermöglicht. Damit das funktioniert, müssen die korrekten Drehzahlen für jeden einzelnen Motor kontinuierlich berechnet werden. Diese Aufgabe übernimmt der Flightcontroller basierend auf den Steuerbefehlen, die über die Fernbedienung per Funk übermittelt werden. Zudem wertet der Flightcontroller die Messergebnisse der unterschiedlichen Sensoren aus und bezieht diese Daten bei den Berechnungen mit ein. Doch die Datenübertragung funktioniert nicht nur in eine Richtung, denn die Messwerte der Sensoren werden über den Flightcontroller teilweise auch zurück an die Fernsteuerung geschickt. So ist es möglich, vom Boden aus Telemetriedaten wie die Flughöhe, die aktuelle Fluggeschwindigkeit oder den Ladestand der Akkus einzusehen.



⤴ **Abbildung 1.26**

Dank des Flightcontrollers können Sie auf dem Monitor Ihrer Fernsteuerung die wichtigsten Flugdaten, wie Flughöhe, Fluggeschwindigkeit und den Ladestand der Drohnenakkus, sehen.

Sensoren

Damit der Flightcontroller gut arbeiten kann, benötigt er möglichst viele Daten zum aktuellen Zustand der Drohne. Nur mit den richtigen Daten kann der Computer bestimmen, ob die aktuellen Drehzahlen den gewünschten Effekt erzielen, und bei Bedarf gegensteuern. Diese Daten liefern diverse Sensoren.

Zur Ermittlung der Fluglage kommen *Gyroskope* (Drehratensensoren) zum Einsatz. Mit Gyroskopen kann bestimmt werden, wie schnell sich das Fluggerät um eine bestimmte Achse dreht. Unterstützt werden die Gyroskope von *Accelerometern*, die die Beschleunigung der Drohne erfassen.

Mit den zwei bereits genannten Sensoren kann die aktuelle Bewegung des Flugkörpers gut festgestellt werden, jedoch weiß der Flightcontroller noch nicht, in welche Himmelsrichtung sich die Drohne bewegt. Diese Daten werden – Sie ahnen es – von einem Kompass (Magnetometer) zur Verfügung gestellt. Das Magnetfeld der Erde verbessert somit die Manövrierbarkeit der Drohne im Raum. Damit sich Ihre Drohne gut orientieren kann, sollten Sie bei der Auswahl eines Startplatzes da-

rauf achten, dass metallische Gegenstände weit genug von Ihrer Drohne entfernt sind.

Um unter anderem rechtliche Auflagen erfüllen zu können, benötigen wir eine Möglichkeit, die aktuelle Flughöhe der Drohne zu messen. Dafür verfügen Drohnen über ein *Barometer*, das kontinuierlich den Luftdruck misst. Aufgrund der Änderungen beim Luftdruck kann ein relativer Höhenunterschied zum Startpunkt festgestellt werden.

INERTIAL MEASUREMENT UNIT

Mehrere (Beschleunigungs-)Sensoren werden als *Inertial Measurement Unit (IMU)* zusammengefasst. Wenn Sie von Ihrer Drohne aufgefordert werden, die IMU zu kalibrieren, sollten Sie Ihre Drohne schnellstmöglich landen und den Anweisungen folgen. Eine falsch kalibrierte IMU kann einen geregelten Flug massiv erschweren.

Navigation deluxe

Die Vielzahl an Sensoren in modernen Drohnen machen es extrem leicht, die Flieger zu steuern. Diese Leichtigkeit bei der Steuerung haben wir nicht zuletzt den Navigationsmodulen zu verdanken, die in modernen Drohnen eingebaut sind.

Diese Navigationsmodule berechnen ihre eigene Position durch Satelliten, die in der Erdumlaufbahn kreisen. Man spricht hier von *Globalen Navigationssatellitensystemen (GNSS)*.

GNSS	Betreiber
Beidou	China
Galileo	Europäische Union
GLONASS	Russland
GPS	USA

⚡ **Tabelle 1.2**

Anbieter der Globalen Navigationssatellitensysteme

In unserem Kulturkreis haben viele Menschen vor allem das amerikanische *Global Positioning System (GPS)* im Kopf, wenn es um die Navigation geht. Doch mittlerweile gibt es mehrere Alternativen, die mit Drohnen genutzt werden können.

Abhängig vom Modell werden mittlerweile bis zu vier Satellitennetze in Drohnen verwendet. Je mehr Satelliten zur Verfügung stehen, desto genauer kann die Position einer Drohne bestimmt werden. Deswegen ist es von Vorteil, wenn möglichst viele GNSS-Signale verarbeitet werden.

Aus unserer Erfahrung heraus können wir sagen, dass wir bisher überall auf der Welt genügend Satellitensignale empfangen haben, um unsere Drohne gut steuern zu können. Wollen Sie aus Neugier dennoch wissen, mit welcher Abdeckung Sie an den unterschiedlichen Standorten rechnen können, empfehlen wir einen Blick auf die Webseite www.gnssplanning.com. Auf dieser Seite können Sie in den Einstellungen angeben, wo Sie wann in welcher Flughöhe Ihre Drohne starten lassen wollen. Nach einem Klick auf den Button **Anwenden** können Sie unter dem Navigationspunkt **Charts** nachverfolgen, mit wie vielen Satelliten Sie im Tagesverlauf rechnen dürfen. Für eine höhere Aussagekraft der Daten wählen Sie die Satellitennetze auf der linken Seite ab, über die Ihre Drohne nicht verfügt.

Doch was bringt es, wenn unsere Drohne ihren Standort so genau bestimmen kann? Hier gibt es vier wesentliche Punkte.

GNSS zur Kurskorrektur Machen wir ein kleines Gedankenexperiment. Stellen Sie sich vor, Sie entlassen einen mit Helium gefüllten Luftballon in die Freiheit. In den seltensten Fällen wird der Ballon senkrecht nach oben steigen. Stattdessen gibt es mindestens eine leichte Luftströmung, die den Ballon zur Seite abtreibt. Drohnen geht es da nicht anders. Fast immer weht ein seitlicher Wind, der den Multicopter von der eigenen Position abbringen würde. Dank der Positionsdaten kann der Flightcontroller gegensteuern und die kleinsten Kursabweichungen korrigieren.

ÜBUNG: DROHNE OHNE GNSS STEuern

Leider können viele neuere Drohnen gar nicht mehr ohne die Satellitenunterstützung geflogen werden. Sollten Sie jedoch eine Drohne besitzen, bei der Sie die Verarbeitung der GNSS-Signale deaktivieren können, sollten Sie das unbedingt einmal auf einem freien Feld ausprobieren. Sie werden staunen, welchen Unterschied diese Unterstützung beim Fliegen ausmacht!

Doch warum sollten Sie es sich unnötig kompliziert machen und die GNSS-Kurskorrektur abstellen? Auf der einen Seite verbessern Sie so Ihre Fähigkeiten beim Manövrieren Ihrer Drohne. Zum anderen kann es vorkommen, dass Sie für ein Projekt eine Drohne in einem Gebäude fliegen lassen wollen. In solchen Situationen können Beton- und Stahlkonstruktionen dafür sorgen, dass keine bzw. nicht ausreichend GNSS-Satelliten empfangen werden. Auch die Abschattung von GNSS-Signalen durch Felswände oder Gebäudefassaden kann problematisch sein. Dann ist es Gold wert, wenn Sie trotzdem die Kontrolle über Ihr Fluggerät behalten.

GNSS für Home Point Zwar sind handelsübliche Drohnen verlässliche Partner in der Luft. Sie sollten sich jedoch bewusst sein, dass es immer zu Zwischenfällen kommen kann. Ein denkbares Szenario ist z. B. der Verlust der Funkverbindung, bei der die steuernde Person keinen Einfluss mehr auf die Flugrichtung der Drohne nehmen kann. In solchen Situationen wird in der Regel ein automatisierter Heimflug (*Return To Home*) eingeleitet zu dem Ort, von dem die Drohne gestartet ist. Die Drohne trifft den Startpunkt (*Home Point*) häufig mit einer Genauigkeit von wenigen Dezimetern.

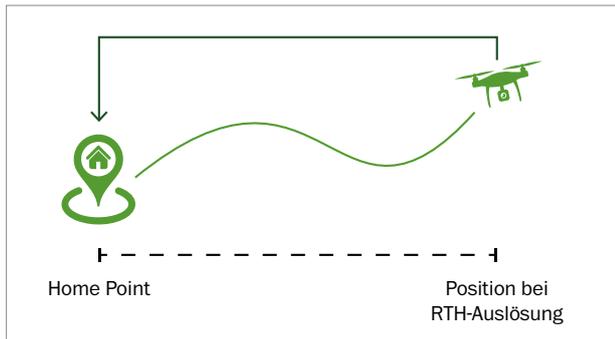
Diese grandiose Funktion wird vom GNSS-Navigationsmodul ermöglicht, da die Geodaten beim Start abgespeichert werden und während des Heimfluges die abweichende aktuelle Position bekannt ist.

✂ **Abbildung 1.27**

Selbst in abgelegenen Regionen der Welt, wie hier in einem Fischerdorf in Westafrika, sorgen die GNSS-Positionsdaten für einen stabilen und zuverlässigen Flug.

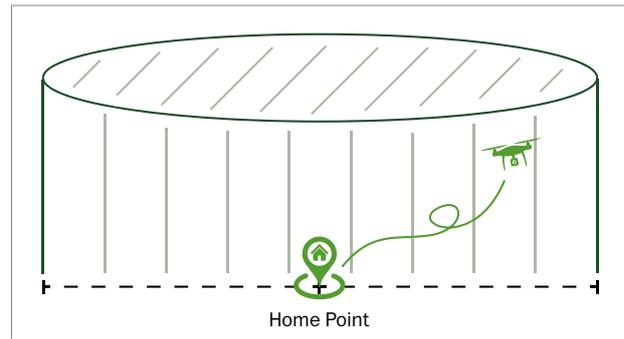
DJI Mavic Air 2 | 4,5 mm | f2,8 | 1/640s | ISO 100





⚡ **Abbildung 1.28**

Sobald die Funktion »Return To Home« ausgelöst wird, fliegt die Drohne in einer festgelegten Höhe automatisch zurück. Je nach Modell kann dies der Startpunkt, die Position der Fernbedienung oder ein selbst gewählter Punkt sein.



⚡ **Abbildung 1.29**

Dank des Geofencing lässt sich ein bestimmter Bereich markieren, in dem die Drohne sich bewegen darf. Diese Begrenzung kann für die Entfernung sowie die Höhe definiert werden.



⚡ **Abbildung 1.30**

Damit der Home Point richtig gesetzt werden kann, ist es ratsam, dass Sie der Drohne vor dem Start kurz Zeit lassen, damit diese ausreichend Satelliten finden kann. Bei den meisten Herstellern wird Ihnen auf dem Monitor angezeigt, ob ausreichend Satelliten in Reichweite sind und ob der Home Point gesetzt wurde. (Foto: Phillip Maethner)

GNSS für Geofencing Dank der GNSS-Daten kann man zudem den Aktionsradius eingrenzen, in dem sich die eigene Drohne bewegen darf. In der Software lässt sich die maximal erlaubte Entfernung zwischen Home Point und der Drohne konfigurieren. Fliegt die Drohne auf die virtuelle Begrenzung zu und versucht diese zu überwin-

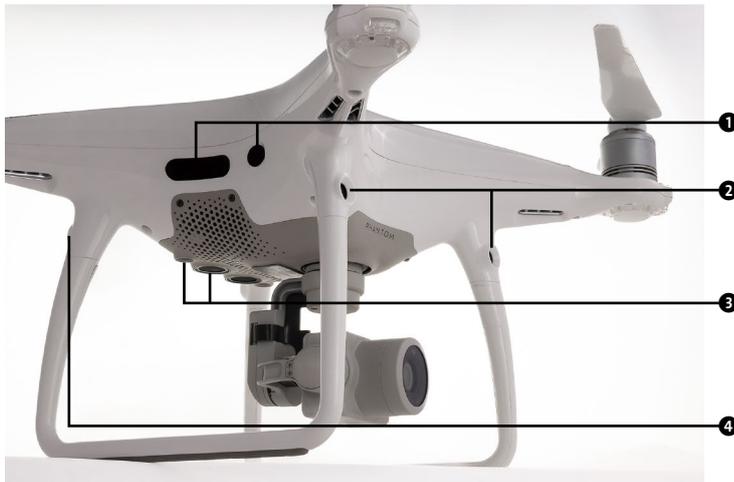
den, bremst die Steuerung automatisch ab und kommt zum Stillstand. Wir errichten also einen virtuellen Zaun im Luftraum. Diese Funktion, die einen möglichen Kontrollverlust verhindern kann, bezeichnet man als *Geofencing*. Mit dieser Funktion stellen Sie sicher, dass der Flieger jederzeit innerhalb der Sichtweite bleibt.

GNSS für Missionen Die Positionsdaten können darüber hinaus dafür genutzt werden, festgelegte Punkte (sogenannte *Wegpunkte*) automatisiert abzufliegen. Ein vollkommen automatisiertes Flugmanöver, beginnend mit dem Start über den Abflug aller definierten Wegpunkte bis hin zum Landen des Fluggerätes bezeichnet man als *Mission*. Diese Möglichkeit wird insbesondere im gewerblichen Kontext angewendet. In Abschnitt 9.6, »Missionsplanung«, auf Seite 303 werden wir uns diese Möglichkeiten genauer ansehen.

Hinderniserkennung

Vielen Einsteiger*innen ist es beim Kauf der ersten Drohne wichtig, dass diese mit Sensoren zur Hinderniserkennung ausgestattet ist. Mit dieser Funktion versprechen sich viele ein besseres Sicherheitsgefühl beim Fliegen.

Um Objekte zu erkennen, werden mehrere technische Lösungen eingesetzt. An der Unterseite vieler Fluggeräte



« **Abbildung 1.31**

Die DJI Phantom 4 Pro besitzt Sensoren in fünf verschiedene Richtungen: Infrarotsystem (links und rechts) **1**, Vorwärtsgerichtetes Sichtsystem **2**, Abwärtsgerichtetes Sichtsystem **3**, Rückwärtsgerichtetes Sichtsystem **4**. So kann der Quadrocopter Hindernisse nach vorn, hinten, unten und zur Seite erkennen und diese gegebenenfalls autonom umfliegen oder davor zum Stehen kommen.

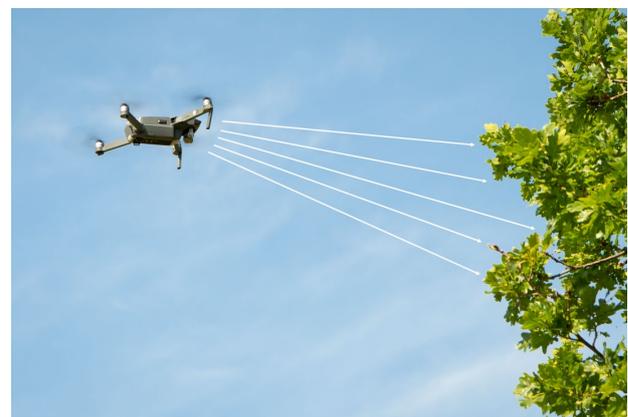
befinden sich Ultraschallsensoren (Sonare), die einen Schall aussenden. Dieser Schall wird am Boden reflektiert, gelangt wieder zurück zur Drohne und wird vom Sensor empfangen. Nun kann die Bordelektronik berechnen, welche Zeit der Schall benötigt hat, und somit die zurückgelegte Strecke ermitteln. In einer Flughöhe von wenigen Metern verbessert diese Messung die Stabilität des Fluges. So kann selbst in tiefen Tälern, in denen kein GNSS-Signal empfangen wird und in denen eine starke Luftströmung zu erwarten ist, eine vertikale und horizontale Drift der Drohne vermieden werden.

Neben den Sonaren sorgen weitere Sichtsensoren dafür, dass Objekte in der Flugbahn erkannt werden. Je nach Drohne und vorgenommenen Einstellungen kann das Fluggerät vor einem erkannten Hindernis abbremsen und schweben oder es autonom umfliegen.

Es ist sagenhaft, welchen Fortschritt die Systeme zur Hinderniserkennung durchgemacht haben. Trotz alledem raten wir immer, diese Hilfen wirklich nur als Notfallsystem anzusehen. Betrachten Sie die Objekterkennung von Drohnen wie einen Airbag im Auto. Er ist in Unglücksfällen extrem hilfreich und kann ein Lebensretter sein. Doch Sie haben sicher den Anspruch, das Fahrzeug so zu steuern, dass Sie den Airbag nie in Aktion erleben müssen.

Ähnlich sollten Sie mit der Hinderniserkennung von Drohnen umgehen und von vornherein alles dafür geben, Kollisionen zu vermeiden. Denn selbst die besten

Sensoren können versagen. Insbesondere bei hohen Fluggeschwindigkeiten, feinen Strukturen (Äste, Kabel etc.) oder schlechten Lichtverhältnissen erfassen die Sensoren nicht alle Objekte ideal. Außerdem decken die Sensoren bei vielen Modellen nicht alle Flugrichtungen ab, sodass seitliche oder rückwärtsgerichtete Flüge nicht von der Objekterkennung profitieren. Wenn Ihnen die Hinderniserkennung wichtig ist, sollten Sie sich auf jeden Fall damit auseinandersetzen, was Ihre Drohne in diesem Bereich leisten kann. Schauen Sie sich an, ob



⤴ **Abbildung 1.32**

Dank der Sensoren erkennt die DJI Mavic Pro Hindernisse und bremst davor ab, um eine Kollision zu vermeiden.