

FRANZIS

ALLES, WAS DROHNEN- PILOTEN WISSEN MÜSSEN

Mit 6 E-Books vom Aufbau bis zur
ersten Flugaufnahme Ihrer Drohne



Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

Hinweis: Alle Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag und der Autor sehen sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, dass sie weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen können. Für die Mitteilung etwaiger Fehler sind Verlag und Autor jederzeit dankbar. Internetadressen oder Versionsnummern stellen den bei Redaktionsschluss verfügbaren Informationsstand dar. Verlag und Autor übernehmen keinerlei Verantwortung oder Haftung für Veränderungen, die sich aus nicht von ihnen zu vertretenden Umständen ergeben. Evtl. beigefügte oder zum Download angebotene Dateien und Informationen dienen ausschließlich der nicht gewerblichen Nutzung. Eine gewerbliche Nutzung ist nur mit Zustimmung des Lizenzinhabers möglich.

© 2018 Franzis Verlag GmbH, 85540 Haar bei München

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträgern oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

Autoren: Patrick Leiner, Uwe Schneider, Ulli Sommer, Thomas Riegler

ISBN 978-3-645-39105-4

INHALTSÜBERSICHT

1. Drohnen selber bauen & tunen PDF-S. 4
2. Racerdrohnen selber bauen PDF-S. 566
3. Roverdrohne selber bauen & tunen PDF-S. 812
4. Foto-Drohnen PDF-S. 1000
5. FPV im Modellbau richtig betreiben PDF-S. 1218
6. Quadrocopter richtig einstellen und fliegen PDF-S. 1340

Patrick Leiner

**DROHNEN
SELBER BAUEN & TUNEN**

Vorwort

Der Flugmodellsport ist ein faszinierendes und sehr interessantes Hobby. Schon seit 15 Jahren bin ich begeisterter Modellpilot und beschäftige mich mit dem Bau, der Technik und dem Fliegen von Flugzeugmodellen. Als vor ein paar Jahren die Drohnen- und Multicopter-Technik erst so richtig in Fahrt kam und ich meine wissenschaftlichen Arbeiten für mein Studium planen musste, war für mich klar: Diese Technik möchte ich mir genauer ansehen und verstehen lernen. Flugmodellbau mit integrierter Computertechnik, vom selbststabilisierenden Flugmodus bis hin zu vollkommen autonomen Missionen, die vor dem Start geplant werden können. Mit Hilfe von GPS ist alles möglich. Eine überaus faszinierende Kombination aus PC- und Softwaretechnik, gepaart mit meinem jahrelangen Hobby, dem Flugmodellbau, besser geht es nicht.

Also kombinierte ich mein Hobby mit meinem Studium und bekam dadurch die Möglichkeit, die Multicopter-Technik von Grund auf im wahrsten Sinne des Wortes zu studieren. Daraus resultierten zwei wissenschaftliche Arbeiten, wovon eine meine Abschlussarbeit war. Und so konnte ich meine ganze Energie in das neue Thema der Multicopter-Technik investieren. Ich hatte dadurch die Gelegenheit, in den letzten Jahren einige Multicopterprojekte zu entwickeln und umzusetzen. Allerdings ist die Technik zum Teil sehr komplex und umfangreich. Deshalb entstand nach meinem Studium die Idee, die gesamte Thematik doch einmal verständlich und übersichtlich in Wort und Bild zu fassen.

Wieso also nicht ein Buch darüber schreiben, welche Erfahrungen ich in den letzten Jahren mit der Multicopter-Technik gesammelt habe? Wie Multicopter aufgebaut sind, wie die gesamte Technik rund um den Multicopter funktioniert und zusammenarbeitet, auf was geachtet werden muss und wie man solch ein Fluggerät selbst bauen kann, beschreibe ich in diesem Buch.

Um hier einmal etwas Licht ins Dunkel zu bringen, habe ich mich dazu entschlossen, nicht nur ein oder zwei dieser verschiedenen Flightcontroller-Systeme zu erklären und in den Bauprojekten zu benutzen, vielmehr sind es fünf verschiedene Systeme, deren technische Grundlagen in diesem Buch behandelt werden. Sie werden auch alle fünf in den Bauprojekten verbaut, eingestellt und geflogen. Wie Sie sich vorstellen können, erfordert es einige Zeit, solch umfangreiche Recherchen und Bauprojekte umzusetzen und darüber auch noch ein Buch zu verfassen.

Einen Multicopter zu bauen ist das eine, die gesamten Projekte auch zu dokumentieren und verständlich zu beschreiben, was man da tut, ist nochmal ein ganz neuer Grad der Auseinandersetzung. Aus diesem Grund möchte ich an dieser Stelle einigen Leuten danken, ohne die dieses Buchprojekt nicht möglich gewesen wäre, in das ich viel Energie und Herzblut investiert habe. Ohne die Unterstützung der Familie geht es sicher nicht. Speziell meinen Eltern, die mir mit Rat und Tat während aller Schreib- und Bauphasen zur Seite standen, möchte ich für die Unterstützung danken. Meiner Freundin Lisa danke ich recht herzlich, für etliche Seiten Korrekturlesen und die Unterstützung während des gesamten Buchprojektes. Weiterhin danke ich Benjamin Allbach, der es überhaupt erst möglich gemacht hat, die Multicopterprojekte – auch zum Zwecke der Wissenschaft für das Projekt »Mobile Urban Sensing«, siehe www.corp.at/archive/CORP2014_87.pdf – während meines Studiums umzusetzen. Ebenso danke ich dem Franzis-Verlag, insbesondere Herrn Dr. Stäuble für die Möglichkeit der Umsetzung dieses Buches und für die gute Zusammenarbeit.

Patrick Leiner

AN WEN RICHTET SICH DIESES BUCH?

Dieses Buch richtet sich vor allem an Technikinteressierte und Flug- und Modellbaubegeisterte, die die neue Sparte des Multicopterfluges fasziniert, und jeden, der selbst einmal eine Multicopterdrohne bauen möchte. Sicher gibt es heute viele fertige Drohnen in einem unschlagbaren Preissegment unter 100 Euro, allerdings macht es viel mehr Spaß, solch ein Fluggerät selbst zu bauen. Die eigene Drohne, das eigene Fluggerät selbst zu planen, die Teile zu bestellen, den Lötkolben in die Hand zu nehmen und Kabelverbindungen und Stecksysteme zu löten, um zum Schluss das selbst gebaute Multicoptermodell vor sich stehen zu haben und es dann auch noch zu fliegen, ist ein unvergessliches Gefühl.

Beim Selberbauen eines Copters lernen Sie viel mehr, als wenn Sie eine fertige Drohne kaufen, auspacken und losfliegen. So viele faszinierende Details, Aha-Effekte und technische Möglichkeiten warten bei einem Do-it-yourself-Drohnen-Bauprojekt auf Sie, dass es sich mehr als lohnt, solch ein Flugmodell selbst zu bauen. Nicht zu unterschätzen ist auch das Know-how, das Sie sich während eines Multicopter-Bauprojektes aneignen, sollte doch einmal etwas kaputt gehen oder nicht funktionieren. Haben Sie Ihren Multicopter von Grund auf selbst gebaut, finden Sie oft sehr viel schneller den Fehler oder können etwas reparieren, da Sie genau wissen, wo der Schuh drückt.

Dabei macht es dieses Buch aus, dass es Ihnen alle nötigen Informationen an die Hand gibt, die Sie benötigen, um ein solches Projekt umzusetzen. Von der Luftschraube bis zur Flugsteuerung wird Ihnen alles anschaulich erklärt und mit Bildern und Grafiken verdeutlicht.

Haben Sie noch keine Erfahrungen mit dieser Technik oder trauen sich so ein Projekt nicht zu? Kein Problem, denn im zweiten Teil des Buches finden Sie drei verschiedene Bauprojekte, die Schritt für Schritt erklären und mit Bildern zeigen, wie ein Copter, egal ob ein kleiner Rennflitzer für rund 135 Euro oder ein großer Power-Octocopter mit FPV, Actioncam und Telemetrie, selbst gebaut werden kann. Selbst fünf unterschiedliche Flightcontroller werden in den Bauprojekten verbaut, eingestellt und geflogen, was es ihnen leichter macht, sich für eines dieser Systeme zu entscheiden.

Die Bauprojekte werden tatsächlich von Grund auf erarbeitet, was nachvollziehbar macht, wieso welche Teile verwendet werden und was diese kosten. Wenn Sie also schon länger mit dem Gedanken spielen, einmal selbst eine Multicopterdrohne zu bauen, dann sind Sie hier genau an der richtigen Adresse.

WIE IST DAS BUCH AUFGEBAUT?

Dieses Buch bietet Ihnen alle Informationen rund um die Themen Multicoptertechnik, Multicopter selber bauen und fliegen sowie Grundlageninformationen und alle rechtlichen Aspekte, die es beim Fliegen eines Copters zu beachten gilt. Zudem wird gezeigt, wie Sie Ihre Multicopterdrohne mit weiteren Bauteilen wie etwa Telemetrie, Akkuverlängerung oder einer FPV-Anlage tunen können. Das Buch ist in zwei große Abschnitte aufgeteilt.

- ▶ Im ersten Teil erfahren Sie alles über die Grundlagen der Technik, Rechtliches, Berechnungen und Planung eines Copter-Bauprojektes.
- ▶ Im zweiten Teil greifen wir dann selbst zu Schraubenschlüssel und Lötcolben und bauen in drei verschiedenen »MAKE-Kapiteln« eine kleine Low-Cost-Drohne, einen Allround-Quadrocopter sowie einen Power-Octocopter.

PREISANGABEN

Alle im Buch genannten Preise wurden im Februar 2016 ermittelt.

In diesem Buch können Sie sich also auf folgende Kapitel und Themen freuen:

Kapitel 1: Drohne, Flugzeug oder was?

Los geht es mit der Beschreibung, was eine Drohne ist, was diese ausmacht und woher die Bezeichnung überhaupt stammt. Auch werden verschiedene Typen von Drohnen bis hin zur Kategorie des Multicopters beschrieben.

Kapitel 2: Multicopter und was sie ausmacht

Eine erste Übersicht klärt darüber auf, was einen Multicopter ausmacht, wo dieser Drohrentyp überall zum Einsatz kommt und welche verschiedenen Bauarten es gibt. Zudem werden die verschiedenen Drehrichtungen der Luftschrauben und der Zweck dahinter erläutert.

Kapitel 3: Bauteile und ihre Eigenschaften

Neben vielen Grundlageninformationen dreht sich in diesem Kapitel alles um die einzelnen Bauteile und die Anatomie eines Multicopters: vom Motor über den Brushless-Regler bis hin zu verschiedenen Flightcontrollern und ihren Einstellungen.

Kapitel 4: Gesetze, Rechtslage und Versicherung

Dieses Kapitel befasst sich mit der komplexen Frage, wo und unter welchen Umständen man einen Multicopter fliegen darf, unter Einbeziehung möglicher Risiken. Eine zusammenfassende Strukturübersicht, wo Sie eine Multicopterdrohne fliegen lassen dürfen, sowie die Fragen zur Rechtslage im Bereich des FPV-Fliegens und der Luftbildfotografie runden dieses wichtige Kapitel ab.

Kapitel 5: Rechnerische Grundlagen

Hier bekommen Sie das Rüstzeug an die Hand, das Sie brauchen, um eigene Berechnungen zur Auslegung der Bauteile in einem Drohnen-Selbstbauprojekt durchführen zu können. Sie berechnen das Gesamtgewicht eines Multicopters, die Motorleistung und Schubkraft und die Flugzeit des Fluggerätes. Mit den errechneten Werten geht es dann an die Auswahl der Bauteile.

Kapitel 6: PID-Werte einstellen

Nachdem Sie die rechnerischen Grundlagen verinnerlicht haben, erhalten Sie in diesem Kapitel die konkrete Anleitung zum Einstellen der PID-Werte eines Multicopters. Dabei können Sie auf verschiedene Art und Weise vorgehen, um am Ende einen gut eingestellten Multicopter zu besitzen.

Kapitel 7: Planung Selbstbaucopter

Kurz vor der Bauphase geht es darum, welche Überlegungen angestellt und welche Fragen beantwortet werden müssen, bevor mit der Teileauswahl, den Berechnungen und dem eigentlichen Bau eines Multicopters begonnen werden kann. Lernen Sie auch die Grundmaterialien kennen, die beim Copter-Bau immer benötigt werden. Sie haben noch nie gelötet? Ein kleiner Lötkurs zeigt, wie die verschiedenen Lötarbeiten durchzuführen sind. An dieser Stelle des Buches sind Sie fit für den Einstieg in die Bauphase.

Kapitel 8: Bau einer Low-Cost-Drohne

Der Startschuss für Bauprojekt 1 ist gefallen! Wir planen und bauen eine kleine Spaßdrohne. Hauptmerkmal bei diesem Projekt sind die Kosten, die wir so niedrig wie möglich halten wollen, um am Ende eine Drohne für ca. 130,- Euro zu bauen. Nach dem erfolgreichen Erstflug wird gezeigt, wie das Fluggerät und der eingebaute CC3D-Flightcontroller verbessert und auch für fortgeschrittene Piloten eingestellt werden können. Zum Ausklang dieses Kapitels gibt es ein Sahnehäubchen, das Ihnen zeigt, wie Sie einen alternativen Flightcontroller, etwa ein KK-Board oder einen MultiWii Crius 2.6, einbauen, einstellen und fliegen können.

Kapitel 9: Bau einer Allround-Quadrocopter-Drohne

Zeit für Bauprojekt 2. Ziel ist es, einen Allround-Quadrocopter zu planen, zu bauen und zu fliegen. Der Quadrocopter soll so ausgelegt werden, dass er stabil und sicher, aber auch schnell und agil geflogen werden kann. Hierfür wird eine DJI-Naza-Steuerung eingesetzt. Am Ende von Bauphase 2 steht eine Tuningmaßnahme, die zeigt, wie Sie durch den Einbau eines zweiten Akkus die Flugzeit des Quadrocopters steigern können.

Kapitel 10: Bau eines Power-Octocopters

Die Kür! Bauprojekt 3 steht unter dem Motto »Meisterprüfung Power-Drohne«. Sie planen, bauen und fliegen einen großen Power-Octocopter mit einem APM-Flightboard. Der Copter wird so berechnet, dass die Flugzeit mindestens eine halbe Stunde beträgt. Das ist aber noch nicht alles, denn Sie werden das Fluggerät so tunen, dass man am Ende ein Telemetriesystem und ein selbststabilisierendes Gimbal mit einer eingebauten Actioncam am Copter montiert ist.

Kapitel 11: FAQ und Fehlerquellen

Allgemein interessante Fragen zum Thema sowie Fehlerquellen und Lösungen werden hier diskutiert und beantwortet.



Vorwort	5
Drohne, Flugzeug oder was?	20
Luft-, Land- und Wasserfahrzeuge	23
Multicopter, Quadrocopter, Hexacopter und Co.	25
Multicopter und was sie ausmacht	26
Im Einsatz von Militär bis kommerziell	29
Funktionsweise einer Multicopterdrohne	31
Typische Bauform und Varianten	32
Fluggeräte und Anzahl der Rotoren	32
Ausrichtung der Fluglage	34
Was rotiert hier verkehrt herum?	35
Drehrichtungen der Luftschrauben	36
Bauteile und ihre Eigenschaften	42
Rahmen eines Multicopters	44
Centerplate, Ausleger und Landegestell	44
Materialanforderungen an den Rahmen	46
Rahmenbausatz oder selber bauen?	47
Bauprojekt mit 3-D-Drucker realisieren	47
Systembausatz und Einzelteile	48
Rahmengröße und Einsatzzweck	48
Motoren im Multicopterbau	50
Wirkprinzip des Gleichstrom-Bürstenmotors	50
Aufbau des bürstenlosen Motors	52
Brushlessmotoren: Innen- und Außenläufer	53
Kennzahlen von Brushlessmotoren	53
Pole und Nuten bei einem 12N14P-Motor	54
Auswirkung auf die Motoreigenschaften	55
Stromaufnahme und Betriebsspannung	55
Regelmäßige Wartung von Brushlessmotoren	56
Motorsteuerung – der Brushlessregler (ESC)	57
Wie funktioniert ein Brushlessregler?	58
Spezieller Reglertyp für Multicopter	58
SimonK – Multicopter-ESC-Software	59

BLHeli – Softwarealternative zu SimonK	59
Durchlass der vollen Akkuleistung – PWM	59
Energiedurchlass per P-FET oder N-FET	60
Energieversorger – BEC oder Opto?	60
Was wird speziell für eine Multicopterdrohne benötigt?	61
ESC-Stromfluss in Ampere (A)	62
Spannung (V) und Zellenzahl (S)	62
Energieversorgung per UBEC sicherstellen	63
Luftschrauben im Copterbau	64
Kunststoff, Glasfaser oder Carbon?	65
Wichtige Kennzahlen einer Luftschraube	65
Unterschiedliche Montagemöglichkeiten	67
Auswahl geeigneter Luftschrauben	69
Methoden zum Ausbalancieren	74
Akku: Hier kommt Spannung auf	76
Vorteile von LiPo-Akkus	77
Nachteile von LiPo-Akkus	78
Der Trick mit dem Balanceranschluss	79
Synchronschwimmen im LiPo-Pack	80
Wie macht sich ein Akku-Defekt bemerkbar?	82
Kennzahlen von LiPo-Akkus	82
Parallel- und Reihenschaltung	84
Lagerung und Wartung	85
Ladegeräte und Ladetechnik	86
Auf die richtige Leistung achten	86
Ladegerät mit mehreren Betriebsmodi	88
Ein extra Ladekabel in Betracht ziehen	88
Ladegeräte gleich für mehrere Akkus	88
Laden mit 12 und mit 230 Volt	90
Aufgabe des Flightcontrollers	91
Funktionsweise und Steuereigenschaften	92
Sensoren für optimale Flugeigenschaften	93
Flugposition erfassen und stabilisieren	94
Erweiterung durch optionale Sensoren	96
PID-Regler für Ist-Soll-Vergleiche	97
Openpilot/Librepilot – Steuersoftware	101
Flugmodi der OpenPilot-Software	104



MultiWii – Steuersoftware	110
Flugmodi der MultiWii-Software	117
DJI-Flightcontrollersystem	120
Komponenten der DJI-Naza-Flugsteuerung	120
Einstellungen in der DJI-Assistent-Software	122
Flightmode-Auswahl der DJI-Systeme	124
IOC-Einstellung für Fluganfänger	126
Kompass-Kalibrierung durchführen	130
Ardupilot-Flightcontrollersystem	131
Vielfältige Flugmodi und Einstellmöglichkeiten	131
Mission Planner – perfekte Benutzeroberfläche	132
Flugmodi des Ardupilot-Mega-Systems	133
Einstellungsmöglichkeiten und Flugmodi der Software	134
Flightcontroller mit Mission Planner einstellen	138
Ardupilot Mega – Begriffserklärungen	144
Kalibrieren der APM-ESCs	145
Autotune – PIDs einstellen leicht gemacht	146
Log-Daten herunterladen und analysieren	148
KK-Flightcontrollerboard	150
Einfach in der Handhabung	151
Flugmodi mit dem KK-Board	153
Anpassungen und Einstellungen	154
Anlernen des Gasweges	163
Entscheidungshilfe in Sachen Flightcontroller	163
RC-Anlage – Funksteuerung des Multicopters	166
Funktionsweise der RC-Anlage	167
Lehrer/Schüler-Modus	169
RC-Anlage für Multicopter	169
2,4-Gigahertz-Fernsteueranlagen	170
Die Steuermodi 1 bis 4	171
Auswahl einer Fernsteuerung	173
Steuerachsen eines Multicopters	174
Telemetriesysteme	175
Telemetrierbindung via Bluetooth	176
Telemetrierbindung via Funkmodul	177
Telemetrierbindung via RC-Anlage	178

Kameras, Gimbals und FPV	178
Und Action: Kameras in der Luft	181
Actioncams für Bild- und Videoaufnahmen	183
Kameras für professionelle Luftbilder	184
Kameras für Filme in Kinoqualität	185
Rolling-Shutter-Effekt	186
Bildübertragung per Live-out-Anschluss	188
Das Gimbal – die Kameraaufhängung	188
Immersionsfliegen wie im Cockpit (FPV)	194
Komponenten einer FPV-Anlage	194
Kompatible Frequenzen und Kanäle	197
FPV mit Stabantenne oder Clover-Leaf?	200
Latenzzeit eines FPV-Systems	201
OSD-Livedaten in ein Videobild einspielen	201
Checkliste: Anschaffung einer FPV-Anlage	203

Gesetze, Rechtslage und Versicherung

Sicherheit geht vor!	206
Risiken und Gefahren	206
Rechtslage und Versicherung	208
Flugmodell oder UAV	209
Eine Modellflugversicherung ist Pflicht	210
Rechtsvorschriften und Aufstiegsgenehmigungen	212
Erlaubnis des Grundstückseigentümers	213
Landen und Starten von öffentlichen Wegen	214
Allgemeine Aufstiegsgenehmigung einholen	214
Einholen einer Einzelaufstiegsgenehmigung	215
Einhaltung des aktuellen Luftfahrtrechts	216
Ausnahmen bestätigen die Regel	221
Checkliste: Gesetzes- und Verordnungszählung	223
Überblick: Wo und wie darf man fliegen?	225
Rechtslage FPV und Telemetrie	225
Rechtslage – Fotos und Videos aus der Luft	227



4



5

Rechnerische Grundlagen	230
Es geht mit einfachen Berechnungen	232
Gewicht, Schubkraft, Motor, Akku und Flugzeit	232
Gewichtsberechnungen für die Bauteile	233
Grobe Berechnung des Rahmengewichtes	234
Benötigte Schubkraft	236
Verhältnis von Gesamtgewicht zu Schubkraft	236
Geeignete Motoren auswählen	237
Auswahl einer Rotorkombination	238
Daten und Parameter der Komponenten	240
ESC-Auswahl und C-Wert	240
Maximaler Stromfluss durch den Motor	240
Flugzeitberechnung und -optimierung	242
Optimierung der Flugzeit	246



6

PID-Werte einstellen	248
Methoden zum Ändern der PID-Werte	250
Methode 1 - Ändern via USB-Verbindung	251
Methode 2 - Ändern via Fernsteuerung	252
Methode 3: Ändern via Telemetriverbindung	252
Einstellung der PIDs während des Fluges	254
PID-Einstellung durch Festhalten des Copters	256
PID-Einstellung durch Seilaufhängung	257
PID-Feintuning im Flug	260



7

Planung Selbstbaucopter	262
Was geklärt werden muss	264
Was will ich mit der Drohne machen?	264
Welche Bauteile brauche ich?	264
Welchen Rahmen verwende ich?	266
Wie hoch sollen die Kosten sein?	266
Welche Bauteile kommen an welche Stelle?	266
Checkliste aller wichtigen Planungsfaktoren	267
Rahmen selber bauen oder Rahmenbausatz?	267

Grundmaterial und technische Ausstattung	268
Checkliste der Grundausrüstung	268
Kleiner Lötkurs für Drohnenbauer	271
Stecker und Buchse anlöten	272
Kabel aneinander löten	274
Pins in eine Platine löten	276
Einen neuen Akkusteckers löten	276
Einen JST-Stecker löten	279
Bau einer Low-Cost-Drohne	280
Das Baukonzept ausarbeiten	282
An erster Stelle steht der Kostenfaktor	283
Grundlegender Funktionsumfang der Drohne	283
Festlegen der für den Bau benötigten Teile	283
Checkliste der benötigten Bauteile	284
Einkaufstipps und Bauteileauswahl	284
Der Rahmen - Basis der Multicopterdrohne	285
Der Flightcontroller - für die Steuerung (CC3D)	286
Der Empfänger - passend zum Fernsteuersystem	286
Der Motor - die wichtigste Entscheidung	287
Der Akku - im Rahmen der Budgetbeschränkung	291
Die LEDs - für jeden Ausleger ein Streifen	291
Berechnungen prüfen und Fluganalyse erstellen	292
Durchführen einer Flugzeitberechnung	292
Finale Teileliste und Gesamtkosten	293
Bau der Multicopterdrohne von A bis Z	295
Bauphase 1: Exakte Anordnung der Bauteile	295
Bauphase 2: ESC- und Motorkabel zuschneiden und löten	298
Bauphase 3: Montage der Motoren, ESCs und LEDs	303
Bauphase 4: Verkabelung und Akkustecker löten	307
Bauphase 5: Flightcontroller montieren	310
Bauphase 6: ESCs und Flightcontroller verbinden	312
Bauphase 7: Empfänger einbauen und anschließen	313
Bauphase 8: Akku und Akkuchecker montieren	316
Software: Grundkonfiguration der Steuersoftware	319
Software: Kalibrieren der Fernsteuerung	327
Software: Parameter zur Flugstabilisation	331
Bauphase 9: Montage der Luftschrauben	334



8

Fire it up! Bereitmachen für den Erstflug	335
Pre-Flight-Checkliste abhaken	336
Fernsteuerung einschalten	336
Akku mit dem Copter verbinden	336
Flightboard hochfahren	336
Drohne scharf schalten	337
Richtigkeit der Steuereingaben checken	337
Checkliste: Multicopter flugfertig machen	337
Langsam Gas geben und abheben	338
Erkenntnisse nach dem Jungfernflug	338
Feintuning der Low-Cost-Drohne	339
PID-Tuning step by step	339
Checkliste: PID-Tuning	343
Agilerer Flugstil mit Rollen und Flips	343
Alternativer Flightcontroller KK-Board	347
Zum Einbau des KK-Boards benötigte Teile	347
Einbau und Verkabelung des KK-Boards	348
Flightcontroller einschalten und kalibrieren	351
Montieren der Luftschrauben	356
Pre-Flight-Check und flugfertig machen	356
Feine Anpassungen der PI-Settings	357
Alternativer Flightcontroller MultiWii Crius	357
Einbau und Verkabelung des MultiWii Crius	357
Softwarepakete downloaden und konfigurieren	364
Fernsteuerung einstellen und Flugmodi festlegen	369
ACC, Magnetometer und ESCs kalibrieren	372
Pre-Flight-Check und flugfertig machen	373
Möglichkeiten, den Coper zu modifizieren	376
Allround-Quadrocopter	378
Das Baukonzept ausarbeiten	380
Grundlegender Funktionsumfang des Copters	381
Kriterien für die Auswahl eines Rahmens	381
Festlegen der für den Bau benötigten Teile	382
Anfallende Kosten für das Copter-Projekt	383

Berechnungen und Bauteilauswahl	383
Der Rahmen – einfach und mit ausreichend Platz	383
Der Flightcontroller – einfach zu handhaben (DJI-Naza)	384
Der Empfänger – passend zum Steuersystem	384
Der Motor – die wichtigste Entscheidung	385
Die ESCs – passend zum Motor	386
Die Luftschrauben – passend zu Rahmen und Motor	387
Der Akku – passend zur Gewichtsklasse	387
Der Schwebestrom – Basis für die Flugzeitberechnung	388
Bau des Allround-Quadrocopters	391
Bauphase 1: Rahmen zusammenbauen	394
Bauphase 2: Anordnung der Bauteile	394
Bauphase 3: Motoren und ESCs montieren	396
Bauphase 4: Stromverteiler montieren	399
Bauphase 5: ESC- und LED-Kabel löten und montieren	400
Bauphase 6: Montage des Flightcontrollers	405
Bauphase 7: ESCs und Empfänger anschließen	412
Bauphase 8: Akku umlöten und montieren	417
Software: Software installieren und einstellen	421
Software: Fernsteuerung einstellen	425
Software: Weitere Softwareeinstellungen	429
Software: ACCs kalibrieren	431
Bauphase 9: Motorrichtungen überprüfen	432
Bauphase 10: Gasweg der ESCs anlernen	433
Bauphase 11: Kompass kalibrieren	434
Bauphase 12: Luftschrauben montieren	435
Fire it up! Bereitmachen für den Erstflug	440
Pre-Flight-Check und flugfertig machen	440
Ausschlagrichtungen der Fernsteuerung testen	441
Abheben und Testen der Flugeigenschaften	441
FPV-Tuning und PID-Optimierung	442
FPV-Tuning - der Techniktrend schlechthin	442
FPV-Brille - Do-it-yourself-Bausatz	446
Spannungsregler in das Kamerakabel löten	452
Kamera und FPV-Sender am Copter anbringen	454
PID-Werte einstellen und optimieren	458
Flugzeittuning mit zweitem Akku	460
Flugzeitberechnung mit einem zweiten Akku	460
Copter für die Parallelschaltung vorbereiten	461



Power-Octocopter	464
Das Baukonzept ausarbeiten	466
Nebenziel und Funktionsumfang	467
Festlegen aller benötigten Bauteile	467
Rahmengröße des Octocopters	468
Einschätzung anfallender Kosten	468
Bauteilauswahl und Berechnungen	468
Der Rahmen: Lastenträger, optimiert für Schubkraft	468
Der Flightcontroller: mit Erweiterungsmöglichkeiten (APM 2.6)	470
Die Fernsteuerung: Mit integrierter <i>FailSafe</i> -Funktion	470
Der Motor: Die wichtigste Entscheidung	471
Bau des Power-Octocopters	475
Dies und das – was sonst noch benötigt wird	479
Bauphase 1: Rahmen zusammenbauen	479
Bauphase 2: Anordnung der Bauteile	479
Bauphase 3: Motoren und ESCs löten	481
Bauphase 4: Motoren und Stromverteiler befestigen	483
Bauphase 5: ESC-Kabel verlängern und löten	485
Bauphase 6: LED Kabel zuschneiden und löten	487
Bauphase 7: Adapter zur Stromversorgung löten	491
Bauphase 8: Flightcontroller initialisieren und kalibrieren	493
Bauphase 9: Montage des Flightcontrollers	497
Bauphase 10: ESCs und Empfänger verbinden	498
Bauphase 11: Kompassmodul anbringen und anschließen	500
Bauphase 12: ESC-Kabel und Empfänger befestigen	502
Bauphase 13: Akkus befestigen	504
Software: Fernsteuerung einstellen und kalibrieren	505
Software: Flightmodes und Leerlaufdrehzahl einstellen	508
Software: ESCs kalibrieren und Motordrehrichtungen prüfen	508
Software: <i>FailSafe</i> -Funktion einstellen	512
Bauphase 14: Luftschrauben montieren	514
Fire it up! Bereitmachen für den Erstflug	516
Pre-Flight-Check und flugfertig machen	516
Motoren hochfahren und abheben	517
Einbau des Telemetriesystems	517
Gimbal-Actioncam-FPV-Tuning	521
Flugzeit nach der Tuning-Maßnahme	523
Kabel verbinden und FPV-Sender befestigen	531
Rundum-Optimierung durchführen	534





FAQs und Fehlerquellen	536
Fragen und Antworten	538
Fehlerquellen allgemein	543
Fehlerquellen OpenPilot	545
Fehlerquellen MultiWii	546
Fehlerquellen KK-Board	546
Fehlerquellen ArduPilot	547
Fehlerquellen DJI Naza	549
Glossar	550

Bildnachweis







1

DROHNE, FLUGZEUG ODER WAS?

Luft-, Land- und Wasserfahrzeuge 23



»Drohnen, das sind doch diese Aufklärungsflugzeuge vom Militär, in denen keiner mehr drin sitzt.« So oder so ähnlich lautete noch vor ein oder zwei Jahren die Antwort, wenn Otto Normalbürger danach gefragt wurden, was sie sich unter einer Drohne vorstellten. Im Grunde ist das auch gar nicht so verkehrt, denn das Wort stammt im technischen Zusammenhang tatsächlich von einer militärischen Entwicklung. Um Kampfpiloten auch mit dem Umgang scharfer Munition vertraut zu machen und Luftkämpfe so realistisch wie möglich zu gestalten, entwickelte das Militär schon sehr früh Flugzeuge ohne Bewaffnung, die unbemannt geflogen werden konnten und zur Übung dienten. Diese Flugzeuge wurden Drohnen genannt.

■ Das ist allerdings nur eine von vielen Herkunftserklärungen dieses Wortes. Heute hat sich das Wort schon sehr weit im allgemeinen Sprachgebrauch verbreitet und wird nicht mehr ausschließlich mit militärischen Flugzeugen in Verbindung gebracht. Von kleinen Spielzeugfliegern mit vier Rotoren über autonom fliegende Kameracooper für Foto- und Filmaufnahmen bis hin zu Fluggeräten, die in Zukunft einmal die Auslieferungen unserer digitalen Einkäufe übernehmen sollen, alles wird heute als »Drohne« bezeichnet.

LUFT-, LAND- UND WASSERFAHRZEUGE

Was aber bedeutet das Wort genau? Als Drohne werden alle Fahrzeuge bezeichnet, egal ob Flugzeuge, Autos oder Schiffe, die unbemannt sind und fern- oder autonom gesteuert werden. Daraus wird ersichtlich, dass es eine Unterteilung in Luft- Land- und Wasserfahrzeuge gibt. Es werden natürlich auch super klingende englische Wörter und Abkürzungen verwendet. Flugdrohnen werden deshalb auch als UAV (unmanned arial vehicle), Landfahrzeuge als UGV (unmanned ground vehicle) und Schiffe als USV (unmanned surface vehicle) bezeichnet.

Wenn wir uns diese Informationen genau betrachten, wird schnell klar, wieso alle kleinen Fluggeräte, egal ob mit zwei oder acht Rotoren, Drohnen genannt werden. Viele von ihnen können durch eine spezielle Software und mit GPS-Daten autonom fliegen und so gut wie jede kann ferngesteuert werden. Es stellt sich natürlich die Frage, warum diese Fluggeräte, gerade im Zusammenhang mit Fernsteuerungen und Modelltechnik, nicht Flugmodelle genannt werden.

Drohne für Luftaufnahmen - DJI Inspire.





Quelle: Bundeswehr/Pietruszewski/Sebastian Pietruszewski/Heer

Dohne für den gewerblichen Einsatz - Microdrones MD4-1000.



Grundsätzlich besteht Modellbau in der Nachbildung von tatsächlich existierenden oder zumindest früher einmal existenten Fahrzeugen im kleineren Maßstab. Natürlich gibt es die Ausnahme, dass auch ferngesteuerte Flugzeuge »Flugmodelle« genannt werden, die es als großes Original nie gab.

Der Grundgedanke des Modellbaus und des RC-Modellbaus in der Nachbildung von Fahrzeugen, Schiffen oder Flugzeugen bleibt jedoch der gleiche. Da es Fluggeräte wie etwa den vierrotorigen Quadrocopter so noch nicht »direkt« im mantragenden Flugverkehr gab und sich diese neue Technik doch sehr von der herkömmlichen Flugmodelltechnik unterscheidet, hat sich nunmehr das Wort Drohne etabliert. Wieso noch nicht direkt im Flugverkehr?

Quadrocopter gibt es tatsächlich schon seit einigen Jahrzehnten, doch die Technik war nie so weit ausgereift, dass daraus ein serientaugliches Fluggerät wurde. Erst der heutige Entwicklungsstand der Elektrotechnik und Mikroelektronik sowie der massive Preisverfall dieser Bauteile durch die Serienproduktion führten zur Massentauglichkeit dieser Technik. Da die Bauteile nicht mehr utopisch teuer sind, können heute Drohnen angeboten werden, die sich im Preissegment von 100 bis 1000 Euro befinden. Die Bauteile, die für einen Eigenbau einer Drohne nötig sind, werden heute auch im World Wide Web in allen Größen und Spezifikationen angeboten. Genau an diesem Punkt setzt dieses Buch an. Denn allein sich durch den endlosen Dschungel der angebotenen Drohnenteile zu klicken, kann sehr nerven- und zeitraubend sein.

Wichtig ist, dass Flugdrohnen mit zwei bis acht Rotoren auch Multicopter genannt werden. Also ist ein Multicopter einfach eine Unterkategorie der Flugdrohnen. Aus diesem Grund ist in diesem Buch auch immer die Flugdrohne oder eben der Multicopter gemeint, egal ob von einer Drohne, einem Multicopter, einem Copter oder einer Multicopterdrohne die Rede ist.

Multicopter, Quadrocopter, Hexacopter und Co.

Tatsächlich ist das Wort Drohne unter Modellfliegern etwas verpönt, da die gesellschaftliche Assoziation mit diesem Wort immer noch sehr oft Richtung Militär, Krieg, Kampfdrohnen oder Fluggeräte zu Spionagezwecken tendiert. Mit einem Messer können Sie aber auch eine Straftat begehen, oder Sie teilen ein Brot in ein paar Stücke und verteilen es unter Obdachlosen. Es kommt immer darauf an, wie eine Sache verwendet wird. Nicht jeder, der eine Drohne mit eingebauter Kamera fliegt, hat vor, seinem Nachbarn damit durch die Fenster zu schauen. Aber genau dieser Irrglaube der Gesellschaft, dass mit einer Drohne nur Unfug getrieben wird, führt zu der Abneigung, seinen Freizeitsport als Drohnenfliegen zu bezeichnen. Aus diesem Grund werden in der Modellflugszene überwiegend die treffenderen Bezeichnungen Multicopter sowie seiner verschiedenen Bauformen Quadrocopter, Hexacopter und Co. verwendet.

Jetzt, da wir wissen, woher die Bezeichnung Drohne kommt und dass der Multicopter lediglich eine Unterkategorie dieser ist, können wir uns damit beschäftigen, wie ein Multicopter funktioniert, wie die Anatomie dieses Fluggerätes aussieht, wie er also aufgebaut ist, und wie die Einzelteile zusammenarbeiten und kommunizieren.

Patrick Leiner

**RACERDROHNEN
SELBER BAUEN**

Vorwort

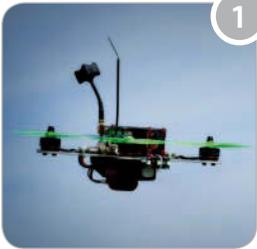
Wer hat als Kind nicht schon einmal davon geträumt, fliegen zu können? FPV-Racing begeistert heute jeden, der sich für schnelle Flugzeuge, Rennevents und Multicopter interessiert. Ist das Fliegen aus der Ich-Perspektive der neue Trendsport? Über den großen Teich herübergeschwappt ist die Faszination FPV-Racing schon längst. Die Drone Racing League ist jedem in der Szene ein Begriff. In geradezu atemberaubender Geschwindigkeit nimmt der Bekanntheitsgrad dieser neuen Sportart zu – nicht zuletzt, weil Experten bereits von der »Formel 1 der Zukunft« sprechen und heute den besten FPV-Piloten schon sechsstellige Gehälter gezahlt werden. Droneracing wird wohl der Techniksport schlechthin werden. Lassen wir uns überraschen und bleiben wir gespannt darauf, was uns noch alles erwartet.

Als vor nicht allzu langer Zeit die ersten FPV-Rennen in Deutschland durchgeführt wurden, hat mich diese Art des Fliegens fasziniert. Die Idee, wie früher in einem Videospiel mithilfe der Multicoptertechnik mit dem eigenen Fluggerät durch einen Parcours zu fliegen, und das nicht virtuell, sondern in der Realität – welch ein genialer Einfall. So befasste ich mich mit diesem Thema und baute meinen ersten FPV-Copter. Das Gefühl, wenn man die Brille aufsetzt, die Fern-

steuerung in die Hand nimmt und sich buchstäblich in das Fluggerät begibt und abhebt, ist unvergleichlich. Das macht diesen Sport so faszinierend, denn man fühlt sich frei wie ein Vogel, während man mit High Speed durch den Parcours rast, an Flaggen und Hindernissen vorbei durch das nächste Gate fliegt und den Nervenkitzel spürt, den Copter nicht gegen das nächste Hindernis zu crashen. Und wenn es doch einmal passiert: Forget it – fix it – fly it! Auch das Bauen und Reparieren macht Spaß, und man freut sich wieder auf die nächste Runde.

Die Faszination für das FPV-Fliegen, aber auch das Wissen weiterzugeben, wie solch ein Copter aufgebaut ist, auf was man achten muss und vor allem wie man ihn selbst bauen kann, bewegte mich dazu, dieses Buch zu schreiben. Wieso sollen nicht auch Sie in wenigen Tagen einen eigenen FPV-Racer bauen können? Wer beginnt, der hat schon gewonnen, denn solch einen Copter zu bauen und zu fliegen macht auf jeden Fall eines: sehr viel Spaß. Ich hoffe, Sie für dieses neue Thema begeistern zu können, denn es bereitet viel Freude an der Technik, am Basteln und Bauen und natürlich die Faszination des Fliegens.

Patrick Leiner



1

Die Welt der FPV-Rennen..... 11

Was ist FPV-Racing? 13

Die Drone Racing League..... 14

Ablauf eines FPV-Rennens 15

Verschiedene Rennklassen 16

Was wird alles benötigt?..... 17



2

Einzelteile eines Racecopters..... 21

Der Rahmen und seine Bestandteile 22

 Wie der Rahmen aufgebaut ist..... 22

 Materialanforderungen an den Rahmen..... 23

 Rahmengröße und Einsatzzweck..... 24

Die Motoren 25

 Gleichstrombürstenmotoren 26

 Brushlessmotoren..... 27

 Innen- und Außenläufer..... 28

 Kennzahlen von Brushlessmotoren..... 29

 Wartung von Brushlessmotoren..... 33

Der Brushlessregler ESC..... 34

 Funktionsweise des Brushlessreglers 34

 P-FET oder N-FET — der effiziente Unterschied 35

 SimonK-Software..... 37

 BLHeli-Software 37

 OneShot125-Protokoll 37

 BEC oder Opto..... 38

 Ampere (A) — die Belastbarkeit..... 39

 Spannung (V) und Zellenzahl (S)..... 40

 UBEC — Spannungsversorgung ohne ESC..... 41

 PDB — Energieversorgung auf kleinstem Raum 42

Die Luftschraube 42

 Kunststoff, Glasfaser oder Carbon? 43

 Wichtige Kennzahlen einer Luftschraube 44

 Unterschiedliche Montagemöglichkeiten 44

 Auswahl geeigneter Luftschrauben 46

 H/D-Verhältnis der Luftschraube..... 47

 Auswahl der Luftschraube..... 48

Der LiPo-Akku: Spannung pur.....	50
Vorteile von LiPo-Akkus.....	50
Kompatibilität der Anschlüsse.....	52
Nachteile von LiPo-Akkus.....	52
Synchronschwimmen im LiPo-Pack.....	54
Aufgebläht! — Achtung, Brandgefahr.....	55
LiPos in Zahlen und Fakten.....	56
Parallel- und Reihenschaltung.....	58
Lagerung und Wartung.....	58
Das richtige Ladegerät.....	59
Die richtige Leistung des Ladegeräts.....	61
Ladegerät mit mehreren Betriebsmodi.....	63
Ein eigenes Ladekabel löten.....	63
Ladegeräte für mehrere Akkus.....	64
Laden mit 12 und mit 230 Volt.....	64
Der Flightcontroller.....	65
Funktionsweise des Flightcontrollers.....	65
Sensoren des Flightcontrollers.....	67
Flugposition erfassen und stabilisieren.....	68
Ultraschallsensor als Erweiterung.....	69
Verschiedene Flightcontroller-Platinen.....	70
Die Flightcontroller-Software.....	71
Cleanflight.....	72
Betaflight.....	82
LibrePilot.....	85
RC-Fernsteueranlage.....	104
Funktionsweise einer RC-Anlage.....	105
Lehrer-Schüler-Modus.....	106
RC-Anlage für Racecopter.....	106
2,4-GHz-Fernsteueranlagen.....	107
Die Steuermodi 1 bis 4.....	108
PPM, SUMD & Co.....	109
Auswahl einer Fernsteuerung.....	111
Steuerachsen eines Multicopters.....	112
Simulatoren — Fliegen ohne Risiko.....	113



3

Das FPV-System 117

Komponenten einer FPV-Anlage.....	119
FPV-Kamera	120
FPV-Sender und -Empfänger	122
FPV-Brillen.....	126
Antennentypen und ihre Merkmale.....	129
Bauarten von FPV-Antennen	130



4

Aufbau eines Racetracks 135

Parcours voller Hindernisse.....	136
Gates durchfliegen	137
Turnflags für Richtungswechsel	138
Streckenhütchen zur Abgrenzung.....	138
Freestyle-Cube durchfliegen.....	139



5

PID-Werte verstehen und einstellen..... 141

Der Aufbau des internen Regelkreises	142
Der P-Wert	143
Der I-Wert	144
Der D-Wert.....	144
PID-Werte richtig einstellen.....	144



6

Antriebsleistung und Flugzeit 151

Grundlegende Berechnungen	152
Gewichtsberechnung des Copters	152
Grobe Berechnung des Rahmengewichts.....	154
Benötigte Schubkraft ermitteln	156
Verhältnis von Gesamtgewicht zu Schubkraft	156
Geeignete Motoren finden	157
Auswahl einer geeigneten Rotorkombination	158
Berechnung über eine Kalkulationssoftware	159
Daten und Parameter der Komponenten.....	159

ESC-Auswahl und C-Wert	160
Maximaler Stromfluss durch den Motor	160
Flugzeitberechnung durchführen	161

Gesetzes- und Rechtslage 165



7

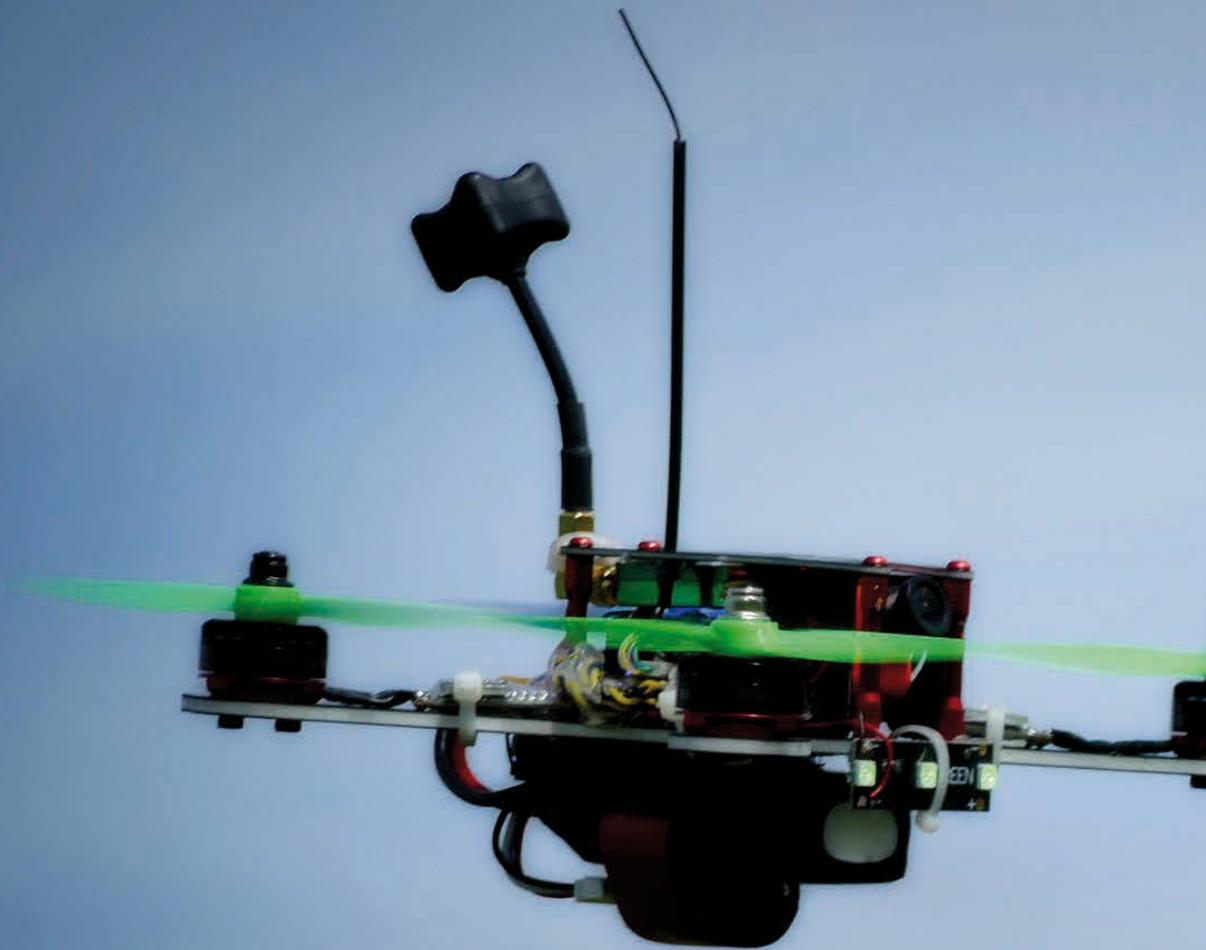
Gesetze und Versicherung.....	166
UAV oder Modellflugzeug?	167
Modellflugversicherung abschließen.....	167
Luftfahrtrecht und Luftraumklassen	169
Rechtsvorschriften und die neue Drohnen-Verordnung	173
Ausnahme speziell für FPV-Flieger	176

Bauen Sie Ihren FPV-Racecopter 179



8

Welchen Racecopter möchten Sie bauen?.....	180
Bauteileberechnung und Auswahl.....	181
Überblick über die benötigten Bauteile	190
Zusammenbau des Racecopters.....	193
1. Den Flightcontroller einsatzbereit machen	194
2. Einbau des Power Distribution Board.....	196
3. Montage der Motoren.....	197
4. ESCs auf den Auslegern anbringen	199
5. Den Akku mit dem PDB verbinden	201
6. ESCs am Stromverteiler anschließen.....	203
7. Den Flightcontroller mit Spannung versorgen.....	205
8. Strom für Sender, LEDs und Kamera.....	208
9. LED-Streifen am Rahmen anbringen	211
10. Einbau des Flightcontrollers	214
11. ESCs in der richtigen Reihenfolge anschließen.....	215
12. Montage der FPV-Kamera.....	217
13. Empfänger für Montage vorbereiten	219
14. Montage des FPV-Senders.....	221
15. Flightcontroller und Empfänger verkabeln	224
16. Fernsteuerung auf den Copter einstellen	228
Fertig machen zum Jungfernflug.....	246



A small FPV drone with green propellers is flying in the sky on the left side of the page.

1

Die Welt der FPV-Rennen

Was ist FPV-Racing?	13
Die Drone Racing League	14
Ablauf eines FPV-Rennens.....	15
Verschiedene Rennklassen	16
Was wird alles benötigt?	17

■ Erfahren Sie in diesem Kapitel alles über das FPV-Racing, die Drone Racing League, aus welchen Dingen eine FPV-Strecke besteht, welche Rennen es gibt und was Sie grundsätzlich benötigen, um in die rasante Welt der FPV-Rennen einzusteigen. FPV-Racing ist der aktuelle Techsport schlechthin. Schnelle Flugzeuge, enge Parcours und die Sicht aus dem Cockpit wie in einem Videospiel – besser geht es nicht. Wenn wir von FPV-Racing sprechen, ist die faszinierende Multicopter-technik gemeint, bei der der Pilot durch eine Brille das Livebild der Kamera in seinem Copter sieht und diesen live steuert.



Ein unglaubliches Gefühl, denn man sitzt sozusagen selbst im Copter und fliegt mit durch das markierte Tor.

Diese neue Sportart hat sich sehr schnell verbreitet. In den USA und auch in Deutschland gründen sich immer mehr Vereine und Verbände, deren Mitglieder dieses Hobby ausüben. Allerdings trifft in manchen Ligen das Wort Hobby gar nicht mehr zu, denn teilweise werden schon Pilotenge-

hälter im sechsstelligen Bereich gezahlt. Der Trend entwickelt sich also zunehmend zu einem ernstzunehmenden Sport.

WAS IST FPV-RACING?

FPV steht für *First Person View* und bezeichnet das Fliegen aus der »Ich-Perspektive«. Es kommen Multicopter zum Einsatz, die mit einer speziellen Kamera und einem Videosender ausgestattet sind und extrem schnell fliegen können. Es handelt sich überwiegend um vierrotorige Quadrocopter. Die kleinen Fluggeräte erreichen Spitzengeschwindigkeiten von bis zu 130 km/h.



FPV-Racecopter im Flug.

Das Livebild der Kamera, die am Copter selbst sitzt, wird ohne Verzögerung an den Piloten am Boden weitergeleitet, der das Videobild durch eine FPV-Brille sehen kann.

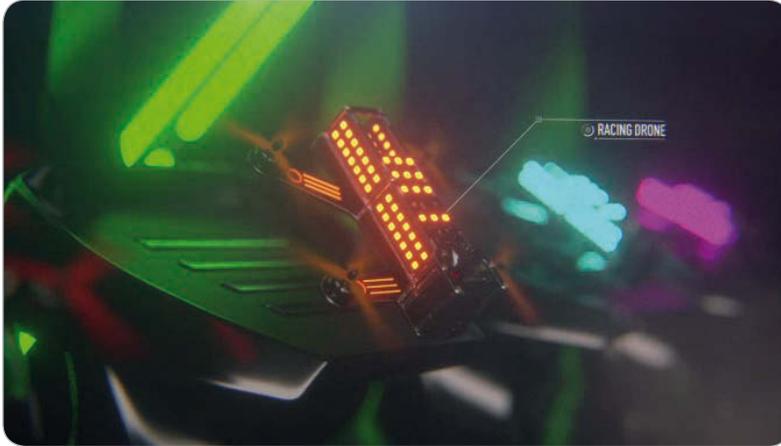


Der Parcours mit seinen Hindernissen.

Der FPV-Pilot steuert seinen Racecopter live durch einen Parcours von Hindernissen und Gates, durch die er hindurchfliegen muss. Dabei treten meist sechs Piloten gegeneinander an und duellieren sich in einem echten Drohnenbattle. Ab und an wird das eine oder andere Fluggerät gecrasht, aber genau das macht die Ganze aus – Spaß am Bauen, am Fliegen und auch am Reparieren und Tunen des Flugsportgeräts. Noch schnellere, noch bessere Rundenzeiten – beim FPV-Racing fühlt man sich wie bei der Formel 1.

DIE DRONE RACING LEAGUE

Da das FPV-Racing gerade ein richtiger Trend wird, ist es nicht verwunderlich, dass bunt beleuchtete, extrem schnelle Racecopter, die durch einen ebenfalls knallbunt beleuchteten Parcours sausen, eine gewisse mediale Wirkung haben. Sehr bekannt wurde die *Drone Racing League* (DRL). Die Liga hat es geschafft, aus dem einst hobbymäßigen FPV-Fliegen eine Sportart zu machen, die fast weltweit Berühmtheit erlangt hat und deren Rennen in viele Länder übertragen werden – in Deutschland über den TV-Sender ProSieben MAXX.



Blick auf den DRL-Simulator.

Die Drone Racing League ist heute die meistbekannteste Rennliga im FPV-Bereich und wächst zusehends. Hier werden den besten Piloten tatsächlich bereits Gehälter bis in den sechsstelligen Bereich hinein gezahlt. Auch viele Sponsoren und Unterstützer wie die Allianz oder Sky Sports sind schon mit an Bord, und ein Ende ist nicht in Sicht. Die Rennveranstaltungen finden an stilvollen Orten statt, etwa in alten und verlassenem Kaufhäusern und Industrieanlagen oder sogar in großen Sportarenen. Die Leistung der in dieser Liga geflogenen Racecopter kann sich auch sehen lassen. Das neueste Modell der Liga – der RACERX – bringt es auf eine Geschwindigkeit von sagenhaften 266 km/h. Wer sich für das Thema interessiert, kann also gespannt sein, was uns in Zukunft noch so alles erwartet.

ABLAUF EINES FPV-RENNENS

Der Ablauf eines FPV-Rennens ist fast identisch mit einem richtigen Rennsportwochenende. Die offiziellen Rennen, bei denen sich die Piloten für immer höhere FPV-Rennen qualifizieren können, werden meist an einem Wochenende durchgeführt. Die Rennstrecken, oft auf einem Sportplatz aufgebaut, stehen den Piloten schon zwei bis drei Tage vor der Veranstaltung für Übungsflüge zur Verfügung. Das Rennwochenende selbst besteht aus einem Qualifikationsrennen und dem eigentlichen FPV-Race. Während des Qualifyings fliegen die Piloten nicht gegeneinander, sondern auf Zeit. Die schnellsten Piloten in diesem Zeitrennen qualifizieren sich für das eigentliche FPV-Rennen, sozusagen die Finalrunde.



Im Mainevent eines FPV-Rennens fliegen meist vier Piloten im K.-o.-System gegeneinander, wobei der erste oder die ersten beiden schnellsten Piloten eine Runde weiterkommen und dem Ziel, Champion zu werden, näherücken. Letztlich fliegen in der letzten Finalrunde die vier schnellsten Piloten gegeneinander und kämpfen um die Krone im FPV-Racing.

VERSCHIEDENE RENNKLASSEN

Es wäre natürlich ein wenig unfair, wenn Racecopter, egal welcher Leistungs- und Größenklasse sie angehören, gegeneinander antreten würden. Der eine weist mehr Gewicht auf, der andere einen größeren Rahmen, und es gibt viele weitere Merkmale, in denen sich die Racecopter unterscheiden. Aus diesem Grund werden FPV-Rennen in verschiedenen Rennklassen durchgeführt. Dies bezieht sich in erster Linie auf die Rennen, die in Deutschland und Umgebung stattfinden.

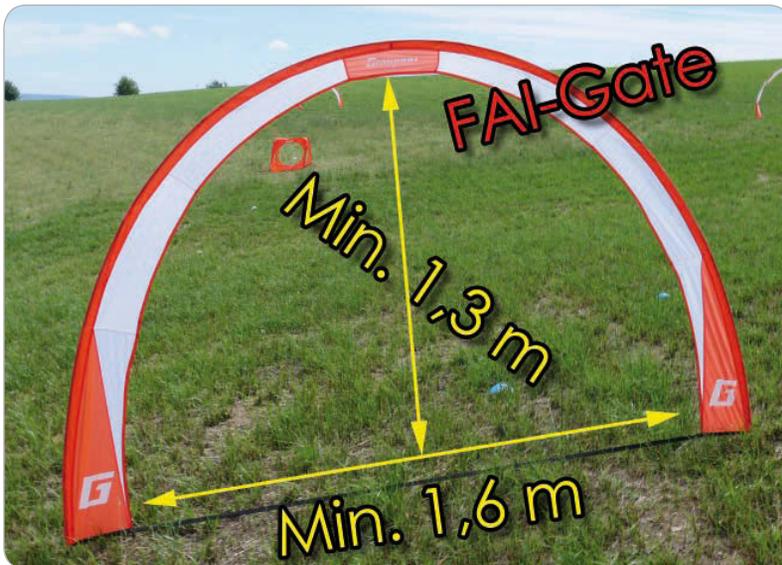
In der Königsklasse, der Drone Racing League, existiert nur eine Klasse, in der alle Copter gleich aufgebaut sind. Das bedeutet, alle Copter besitzen exakt die gleichen Leistungs- und Größenparameter. Bei diesen Rennen kommt es also tatsächlich ausschließlich auf das Können der Piloten an. In Rennen wie beispielsweise den German Masters in Bexbach sorgen dagegen verschiedene Rennklassen für eine gewisse Chancengleichheit unter den Piloten, die ähnliche Racecopter über die Rennstrecke jagen. Hier werden die Rennklassen nach Coptergröße oder nach Coptergewicht eingeteilt.

Bei der Größeneinteilung werden die Multicopterrahmen von einem Motormittelpunkt zum gegenüberliegenden vermessen. Für eine Rennklasse wie beispielsweise die 250er-Klasse bedeutet das also, dass der Copter in seiner Diagonale von Motor zu Motor nicht größer als 250 mm sein darf. Auch das Gewicht kann in Klassen unterteilt werden, beispielsweise bis 250 oder 500 Gramm. In einer Liga oder einem Verband können auch mehrere Beschränkungen zusammengeführt werden, was die Auswahl der Copter einschränkt.

Die FAI (Welt Flugsport Verband) hat beispielsweise ein Regelwerk für FPV-Rennen aufgestellt, das beinhaltet, dass die Copter bis maximal 1.000 Gramm wiegen und 330 mm Rahmengröße aufweisen sowie nur im Acro-Modus – ohne Selbststabilisierung – und mit maximal vierzelligen LiPo-Akkus betrieben werden dürfen. Auch die Rotorgröße und weitere Eigenschaften werden dort für die Rennliga eingrenzt. Neben der Einteilung auf Basis von Größe oder Gewicht ergibt sich eine weitere Rennklas-

se, in der alles offen und nichts beschränkt ist. Diese bezeichnet man als »offene Klasse«. Hier können Racecopter jeder Art teilnehmen. Alle Regelungen der FAI finden Sie unter der URL www.fai.org/ciam-our-sport/drone-racing.

Die FAI macht auch Angaben darüber, wie groß ein FPV-Gate sein darf. Hersteller wie etwa Graupner bieten deshalb für FPV-Rennen spezielle Gates in der entsprechenden Größe an.



FAI-Gate von Graupner.

WAS WIRD ALLES BENÖTIGT?

Um in die aufregende und spannende Welt des FPV-Racings einsteigen zu können, wird natürlich umfangreiches Equipment benötigt, das je nach Qualität und Leistungsanspruch einen kleineren oder größeren finanziellen Aufwand bedeutet. Die Spanne reicht von einem kleinen Low-Cost-Copter für weniger als 200 Euro bis hin zum High-End-Racecopter mit 130 km/h Spitzengeschwindigkeiten, der deutlich über 500 Euro liegen kann. Aber nicht nur der Copter selbst wird für das FPV-Racing benötigt. Um die Spannung eines Copterrennens aus der Ich-Perspektive erleben zu können, gehört auch eine FPV-Anlage sowie eine Fernsteuerung zum Equipment eines Racingpiloten.

Ein Racecopter besteht aus den folgenden FPV-Komponenten:

- ▶ Rahmen
- ▶ Motoren
- ▶ Motorregler
- ▶ Akku
- ▶ Flightcontroller (Flugsteuerung)
- ▶ RC-Anlage
- ▶ FPV-Kamera
- ▶ FPV-Sender



Der Pilot selbst benötigt noch eine FPV-Brille zum Empfangen des Videobilds und eine Fernsteuerung.

Da die Piloten durch einen Parcours mit Hindernissen und Gates fliegen, wird natürlich auch das Streckenmaterial benötigt, das auf einem größeren Feld aufgebaut werden kann. Es besteht meist aus Gates zum Durchfliegen, Flaggen, an denen die Flugrichtung gewechselt wird, sowie kleinen Pylonen, die zur Abgrenzung der Strecke dienen.



Gates zum Durchfliegen und Flaggen, an denen die Flugrichtung gewechselt wird, sowie kleine Pylone für die Streckenabgrenzung.

Patrick Leiner

**ROVERDROHNE
SELBER BAUEN & TUNEN**

VORWORT

Der technische Wandel unserer Zeit schreitet schneller und zielstrebig voran als je zuvor. Selbstfahrende Autos, Drohnen, die Pakete ausliefern, und Flugzeuge, die bald Personen über die verkehrschaotischen Straßen hinweg befördern werden, um so jeden Stau zu umgehen – alles zielt auf ein großes technologisches Ziel ab, nämlich die autonome Robotik. Der Mensch strebt danach, immer intelligentere Maschinen zu entwickeln, die ihm das Leben erleichtern. Genau dafür werden heute schon Fahrzeuge, humanoide Roboter sowie natürlich die Hauselektronik weiterentwickelt, damit sie mit der Zeit komplexere Aufgaben erledigen können, ohne dass der Mensch eingreifen muss. Autonome Fahrzeuge, Flugzeuge und Roboter sind der Zukunftstrend schlechthin.

Nach meinem ersten Buch »Drohnen selber bauen & tunen«, in dem ich die gesamte Technik der Multicopterdrohnen erkläre sowie drei Projekte zum Nachbauen beschreibe, war ich mir sicher, dass es noch viele andere Möglichkeiten gibt, die Steuerelektronik der fliegenden Multicopterdrohnen zu nutzen, um weitere Projekte, auch am Boden, umzusetzen.

Man bekommt als Kind das allererste Modellauto geschenkt und ist sofort fasziniert von der Technik, mit der sich das Modell über eine Fernsteuerung lenken lässt.

Wenn man älter wird, werden auch die Modellautos immer größer, und ein Benzinmotor im Modell kann so richtig was hermachen. Mit dem Nitro-Monstertruck durch Staub und Matsch – das macht mächtig Spaß. Seit über 15 Jahren begeistern mich als Modellflugpilot nicht nur Modellflugzeuge, sondern auch die RC-Car-Welt. Wenn man sich außerdem für Raumfahrt und speziell für die Rovertechnik interessiert, drängen sich Gedanken dazu auf, wie man mit der Technik, die heute jedem zugänglich ist, solch ein Gefährt mit autonomer Steuerung, Kameras an Bord und einer Solaranlage, die die Akkus wieder auflädt, selbst bauen kann. Solch ein interessantes Projekt wie den Bau einer Roverdrohne muss man einfach realisieren.

Gerade die autonome Steuerung eines Rovers ist eine Herausforderung. Gut, dass es schon aus der Drohnenwelt Möglichkeiten, sprich Hard- und Software, gibt, die genau für solch einen Zweck eingesetzt werden können. Das Open-Source-System ArduPilot (APM), das neben der Steuerung eines Multicopters weitere Einsatzfelder vorprogrammiert hat, kann dafür wunderbar verwendet werden. Diesem autonomen Rover, dem ArduRover, werden wir uns in diesem Buch widmen. Sie werden den Aufbau des Systems und der Hardware kennenlernen sowie eine eigene Roverdrohne damit bauen und diese zudem mit einer FPV- und einer Solaranlage tunen. Viel Spaß beim Lesen und Bauen.

Patrick Leiner

AN WEN RICHTET SICH DIESES BUCH?

Sie interessieren sich für ferngesteuerte Automodelle, Raumfahrt- und Rovertechnik sowie für neue Technologien wie etwa selbstfahrende Autos, oder Sie haben schon früher mit einem Lego®-Mindstorms-Roboter herumexperimentiert und möchten nun tiefer in die Welt der autonomen Fahrzeuge und ihrer Technik eintauchen, dann ist dieses Buch genau das richtige für Sie. Es richtet sich an alle technikbegeisterten Do-it-yourself-Elektronikbastler, die selbst einmal Schraubenzieher und Lötkolben in die Hand nehmen und ein eigenes, selbstfahrendes Roverfahrzeug mit vielen Features bauen möchten. Auch Trendthemen wie das Verbauen einer FPV-Anlage und der Antrieb mit einer Solaranlage kommen nicht zu kurz.

In diesem Buch lernen Sie von Grund auf, wie ein Roverfahrzeug aufgebaut ist, wie man es zu einer autonomen Roverdrohne umbauen kann und wie Sie das Gefährt tunen können, indem Sie eine FPV-Anlage mit drei verschiedenen Kameras und eine komplette Solaranlage, mit der der Akku geladen werden kann, planen und einbauen. FPV (*First Person View*) ist zurzeit voll im Trend und sorgt dafür, dass der Pilot des Fahrzeugs die Innenperspektive, mit Blick aus dem Rover heraus, einnimmt. Weite Feldwege, unwegsame Waldgebiete, ob bei Tag oder in der Nacht, mit der selbst eingebauten FPV-Anlage entdecken Sie immer wieder neue Gebiete, die es mit der Roverdrohne aus der Cockpitsicht zu erkunden gilt.

Beim Bau des Rovers spielt das Flugkontrollsystem ArduPilot (APM), das normalerweise in Multicoptern eingebaut ist, eine große Rolle. Die Roverdrohne wird mit dieser Technik ausgestattet, sodass sie auch autonome Missionen, die vorher geplant wurden, ausführen kann. Es wird also ein kompletter ArduRover geplant und gebaut. Wer braucht schon eine Steckdose?

Wenn Sie sich auch für das Thema Solarenergie und Solaranlagen begeistern und schon immer einmal ein Solarprojekt selber in Angriff nehmen wollten, kommen Sie von diesem Buch nicht mehr los, denn am Schluss des Roverdrohnen-Bauprojekts wird eine komplette Solaranlage geplant und verbaut, die nicht nur den Akku laden kann, sondern ihn bei der Fahrt auch aktiv entlastet, indem sie den Motoren einen extra Powerschub liefert. Wenn Sie sich also für einzelne oder sogar alle diese Themen interessieren und begeistern, werden Sie dieses Buch nicht mehr aus der Hand legen wollen.

WIE IST DIESES BUCH AUFGEBAUT?

Dieses Buch führt Sie durch die Welt der Fahrzeugdrohnen (Roboterfahrzeuge), ihrer Bestandteile und des Selberbauens einer eigenen Roverdrohne. Vom kompletten Bau bis hin zum Tuning mit einem FPV-System und der Installation einer Solaranlage ist alles detailliert beschrieben und zum Nachbauen mit Bildern dokumentiert.

Der erste Teil des Buchs macht Sie mit der Technik und dem Aufbau eines Rovers sowie mit seinen Bestandteilen vertraut. Nachdem Sie wissen, wie ein Rover eigentlich zu einer Roverdrohne wird, befasst sich der zweite Teil des Buchs mit dem kompletten Bau einer eigenen Roverdrohne. Alles ist detailliert bebildert und dokumentiert, sodass das Nachbauen einfach zu realisieren ist und vor allem Spaß macht. In diesem Buch können Sie sich also auf folgende Kapitel und Themen freuen:

- ▶ **Kapitel 1 - Roverdrohne: der Fahrroboter**
Im ersten Kapitel des Buchs dreht sich alles um die fahrende Roverdrohne. Was macht solch ein Fahrzeug aus, wo wird es eingesetzt, und wie wird überhaupt ein Rover zur Roverdrohne?
- ▶ **Kapitel 2 - Bausteine der Roverdrohne**
Hier finden Sie alles, was Sie über eine Roverdrohne wissen müssen. Wie ist solch ein Gefährt aufgebaut, und aus welchen Bauteilen besteht es? Vom Grundgerüst über das eigentliche Roverfahrzeug und die RC-Car-Welt bis zu den Motoren und wie diese betrieben werden, finden Sie hier alles Wissenswerte. Auch das große und interessante Themengebiet der LiPo-Akkus wird behandelt, genauso wie der Aufbau und die Funktionsweise eines Flightcontrollers, der für den autonomen Betrieb benötigt wird.
- ▶ **Kapitel 3 - Bau einer Roverdrohne**
In diesem Kapitel stellen wir die ersten Überlegungen an zum Bau der eigenen Roverdrohne und was sie alles können soll, denn gut geplant ist schon halb gebaut. Welche Bauteile benötige ich? Und was passt überhaupt zusammen?
- ▶ **Kapitel 4 - Stufe 1: Grundkonstruktion**
In diesem Kapitel greifen Sie selbst zu Lötcolben und Schraubenzieher, denn hier beginnt der praktische Teil des Buchs, der Bau einer eigenen Roverdrohne. Die erste Stufe (Grundkonstruktion) befasst sich mit dem Umbau eines Rovers zu einer Roverdrohne. Hier wird der Flightcontroller APM 2.6 (ArduPilot - ArduRover) verwendet, um aus einem gewöhnlichen Rock-Crawler-Rover eine autonome Roverdrohne zu bauen.
- ▶ **Kapitel 5 - Stufe 2: FPV-Tuning**
Dieses Kapitel befasst sich mit dem Verbauen einer kompletten FPV-Anlage an der Roverdrohne. Die Sicht aus dem Cockpit ist ein faszinierendes Erlebnis. Neue Landschaften werden erkundet - bei Tag und bei Nacht. Mit einer Action-Cam, einer FPV-Kamera, einer Kamera für die Fahrt bei Nacht und einem Scheinwerfer wird alles möglich.
- ▶ **Kapitel 6 - Stufe 3: Solar-Tuning**
Wer braucht schon eine Steckdose, um den Akku aufzuladen? In diesem Kapitel wird gezeigt, wie eine komplette Solaranlage für das Aufladen des Akkus berechnet und installiert wird. Das Solarsystem wird während der Fahrt den Akku entlasten und ihn bei Stillstand des Rovers aufladen.



1

Vorwort 5

Roverdrohne: der Fahrroboter 10

Was ist ein Rover? 12

Wo werden Rover überall eingesetzt? 13

Wie wird ein Rover zur Drohne? 18

Bausteine der Roverdrohne 20

Grundgerüst der Roverdrohne 23

 Servo zur Steuerung des Fahrzeugs 24

 Geeigneter Maßstab für das RC-Car 25

 2WD- und 4WD-Antriebseinheiten 26

 Ausstattung und RC-Car-Setumfang 26

Antrieb und Fernsteuerung 27

 Antriebsvarianten für RC-Cars 27

 Bauarten von Brushless-Motoren 29

 Energiequelle LiPo-Akku 35

 Funktionsweise der Fernsteuerung 42

Aufgaben des Flightcontrollers 45

 Vom Multicopter direkt ins Auto 45

 Erweiterung des Einsatzgebietes 54

Stufe 1: Grundkonstruktion 68

Bau einer Roverdrohne 70

 Was der Rover alles können soll 70

Bauteile, ohne die nichts geht 73

 Rock-Crawler und Flightcontroller 73

 Großer Lithium-Polymer-Akku 74

 Acrylglasplatte für den Aufbau 74

 Faktoren für die Fernsteuerung 74

 Holz- und Maschinenschrauben 74

Bauphase Schritt für Schritt 76

 Grundlegende Vorarbeiten 76

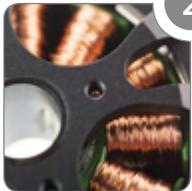
 Die Umbauarbeiten starten 78

 Elektronikkomponenten einbauen 85

 Energieversorgung sicherstellen 90

 Flightcontroller und Empfänger miteinander verbinden 94

 APM-Flightcontroller konfigurieren 102



2



3

Arming des Rovers	109
Beschleunigungssensoren kalibrieren	109
Ultraschallsensor einstellen	111
Telemetrierverbindung einstellen	114
Wichtige Softwareeinstellungen	117

Stufe 2: FPV-Tuning 124

Bauteile, ohne die nichts geht	126
Bauphase Schritt für Schritt	132
Spannungsbereiche der Bauteile	132
Direkte Videosignalverbindungen	134
Anschlusschema für den Scheinwerfer	134
FPV-Anlage und Scheinwerfer einbauen	135
Anschluss der gesamten FPV-Anlage	148
Drei-Kanal-Switch als Kamerabildumschalter	149
Steuerung für Gimbal und Scheinwerfer	151
Finaler Check aller Anschlüsse	153
Die Action-Cam justieren	155



Stufe 3: Solar-Tuning 156

Steckdose? – Nein, danke	158
Berechnung der Solaranlage	159
Bauteile, ohne die nichts geht	161
Bauphase Schritt für Schritt	167
Vorarbeiten für den Anbau der Solaranlage	167
Seitenteile zuschneiden und montieren	169
Kunststoffplatte für den Anlagenaufbau	171
Elektrik für die Reihenschaltung klarmachen	175
Weitere Bauteile der Solarkonstruktion	179
Solarzellen zusammenlöten und montieren	186
Solaranlage für den Betrieb bereit machen	189



Bildnachweis

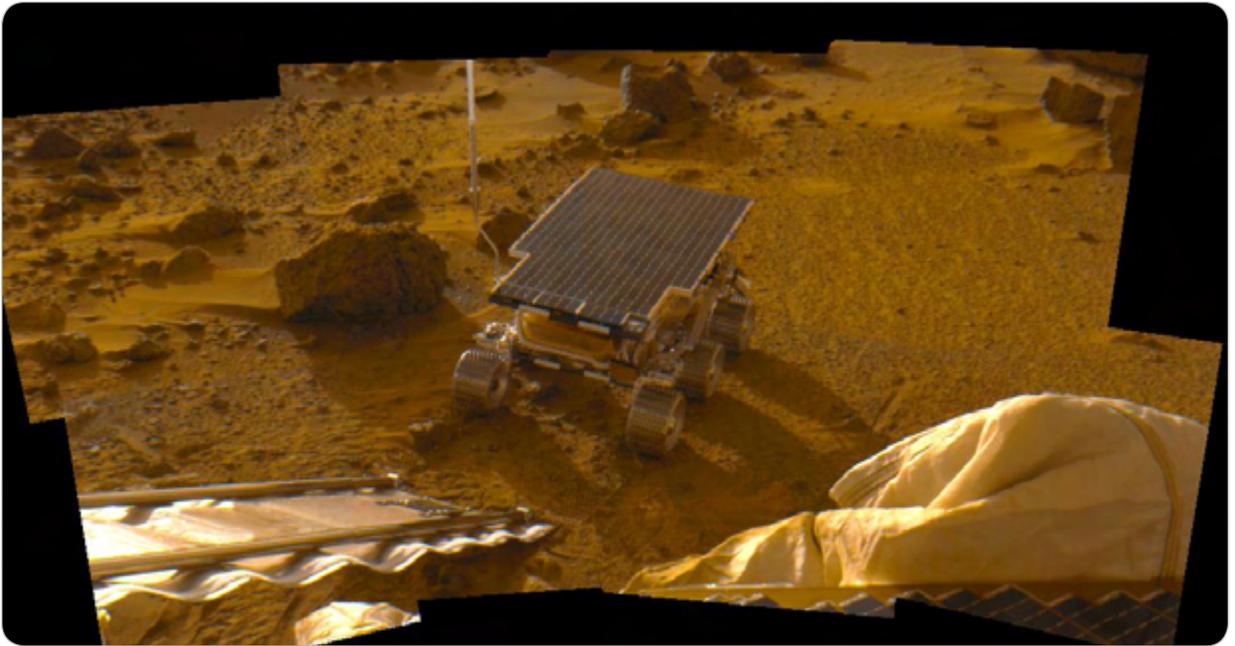




1

ROVER- DROHNE: DER FAHRROBOTER

- Was ist ein Rover? 12
- Wo werden Rover überall eingesetzt? 13
- Wie wird ein Rover zur Drohne? 18



Marsrover Sojourner der Pathfinder-Mission nach den ersten Zentimetern Fahrt auf dem Mars.

Rover – dieses Wort kennen die meisten sehr wahrscheinlich aus den Nachrichten, wenn es um spektakuläre Raumfahrtmissionen geht, in denen ein Marsrover die weite Reise von der Erde aus bis zu unserem Nachbarplaneten, dem Mars, überstanden hat, eine kinoreife Landung im roten Marssand hinlegt und von nun an die unentdeckten Weiten der Marslandschaft erkundet. Aber tatsächlich werden viele Fahrzeuge heute mit dem Begriff »Rover« bezeichnet, weil sie ähnliche Eigenschaften wie ihre Weltraumkollegen aufweisen. Das Wort selbst stammt tatsächlich aus dem Englischen und bedeutet so viel wie »umherwandern«. Das trifft natürlich speziell auf solche Fahrzeuge zu, die beispielsweise für wissenschaftliche Zwecke eingesetzt werden und eine Gegend erkunden, die sich möglicherweise noch niemand vorher genauer angeschaut hat. In der Raumfahrt trifft das natürlich voll und ganz zu, aber auf der Erde gibt es ebenfalls viele Roverfahrzeuge, die ähnliche Aufgaben erfüllen müssen.

WAS IST EIN ROVER?

■ Rover sind richtige Alleskönner, denn um ihren Zweck – das Erkunden von Gebieten oder das Erledigen spezieller Aufgaben in einem Gebiet – erfüllen zu können, dürfen sie natürlich nicht bei der kleinsten Uneben-

heit den Dienst quittieren und ihrem Operator den Status »Out of Order« geben. Auf der Erde mag dies nur ein kleines Problem darstellen, wenn allerdings ein Rover Millionen von Kilometer in einer Raumkapsel auf einen anderen Planeten geschickt wird, muss er natürlich auf so ziemlich alles vorbereitet sein, was die Landschaft bietet. Auch größere Hindernisse wie einen Baum, wenn wir wieder an den irdischen Betrieb denken, sollte so ein Rover umfahren können.

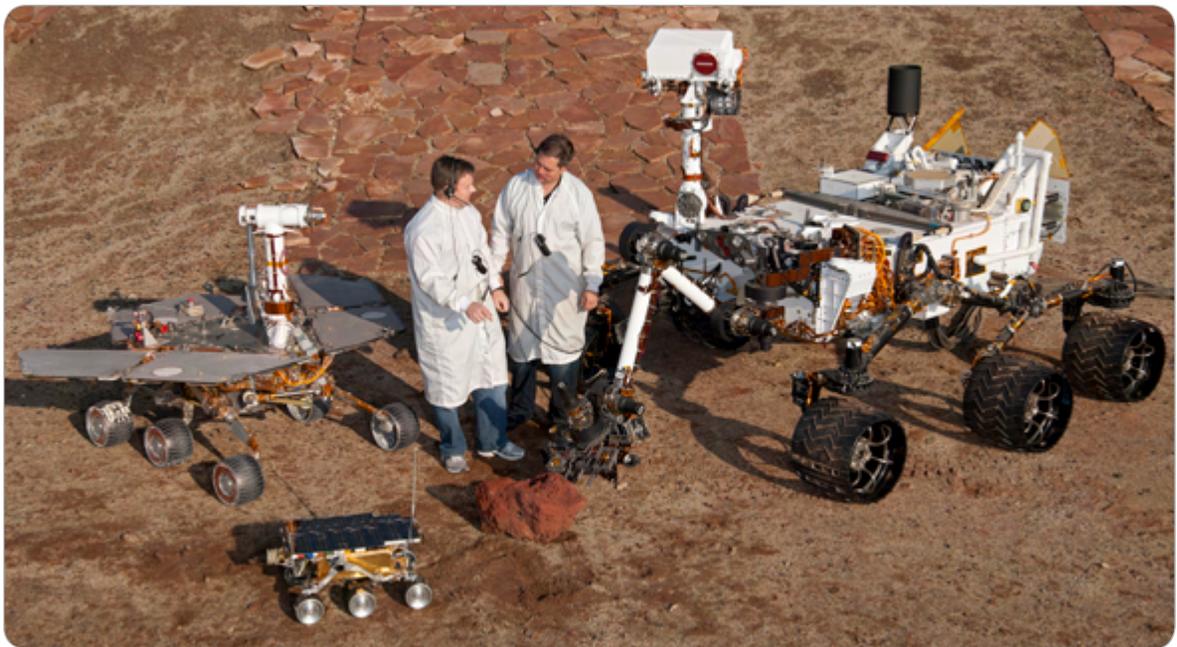
Genau das ist ein weiterer Punkt, der einen Rover so einzigartig macht. Denn viele Fahrzeuge dieser Gattung besitzen nicht nur ein geländetaugliches Fahrgestell und einen kraftvollen Antrieb, sie beinhalten oft auch echte Hochleistungscomputer, die mit verschiedensten optischen Sensoren gefüttert werden und das Gefährt teil- oder sogar vollautonom fahren lassen. Weiß also ein Rover, wo er gerade ist, und hat er die technische Ausrüstung an Board, um seinen Weg selbst zu finden, ist er optimal für seinen Einsatz in allerlei Gebieten gerüstet, sei es auf der Erde oder oben auf einem anderen Planeten.

WO WERDEN ROVER ÜBERALL EINGESETZT?

Wo kommen Rover generell zum Einsatz? Interessant ist, dass sie in mehr Bereichen genutzt werden, als wir denken oder als uns bewusst ist. Einer der populärsten Anwendungsbereiche von Roverfahrzeugen ist sicherlich die sogenannte Space Exploration, also die Erkundung unserer Nachbarplaneten und Monde mit Fahrzeugen, die ferngesteuert oder autonom, Millionen Kilometer von der Erde entfernt spezielle Aufgaben erledigen können. Das ist schon sehr interessant und beeindruckend, wenn man einmal darüber nachdenkt, was so ein Meisterwerk der modernen Technik aushalten muss, bis es am Zielort ist, oder aus wie vielen Einzelteilen ein Rover besteht und wie viele Konstruktionsstunden dahinterstecken.

Speziell bei den Marsroverfahrzeugen der NASA ist eine faszinierende Entwicklung in der Rovertechnik zu erkennen. Wieso ist es vorteilhaft, einen Rover zu nutzen, um unentdeckte Gebiete, Gelände und Landschaften zu erforschen? Um in einem bisher unbekanntem Gelände etwas erforschen zu können, wird eine Forschungseinrichtung benötigt, die nicht nur statisch an einem Ort gewisse Messungen und Forschungen durchführen kann, sondern mobil einsetzbar ist und die Forschungsstation zu immer neuen Gebieten bringt. Man könnte meinen, Fluggeräte seien dafür doch viel effektiver.

Das stimmt vielleicht, jedoch war die Technik bislang noch nicht so weit, Forschung auf einem anderen Planeten oder Mond mithilfe eines Fluggeräts so zuverlässig durchzuführen wie mit einem mobilen Rover. Die Entwicklung der Marsrover zeigt deutlich, dass die Rovertechnik immer weiterentwickelt und immer zuverlässiger wurde. Sehr interessant ist der Fortschritt in der Entwicklung der Roverfahrzeuge, die speziell für die Marserkundung gebaut wurden und tatsächlich auf dem Mars zum Einsatz kamen oder immer noch weit weg von der Erde oben auf dem Roten Planeten durch die Landschaft rollen und den Wissenschaftlern stetig neue und faszinierende Bilder und Daten unseres Nachbarplaneten liefern.



Die jüngste Geschichte der Marsroverentwicklung der NASA: vorne links der Rover Sojourner, hinten links einer der beiden baugleichen Rover Spirit und Opportunity und rechts der Rover Curiosity.

Im obigen Bild ist die jüngste Entwicklung des Marsroverprogramms der NASA sehr gut zu sehen. Der kleinere Rover vorne links ist der 1996 gestartete Marsrover Sojourner, dahinter ist einer der beiden Zwillingsrover des MER-Programms zu erkennen. MER steht für *Mars Exploration Rover* und beinhaltet die beiden baugleichen Marsrover Spirit und Opportunity, die im Jahr 2003 auf den Mars geschossen wurden. Hier ist die Entwicklung recht deutlich zu sehen, denn rechts neben den NASA-Mitarbeitern befindet sich der aktuellste Marsrover Curiosity.

Der Rover Sojourner (Sojourner bedeutet so viel wie »Gast« – zu Gast auf dem Mars) konnte schon einige wissenschaftliche Tests auf der Marsoberfläche durchführen, Gesteinsproben analysieren und die Festigkeit des Marsbodens feststellen. Er war drei Monate auf dem Roten Planeten unterwegs.

Auf dem Rover befanden sich circa 0,2 Quadratmeter Solarzellen, die auf dem Mars eine Leistung von 15 W (Watt) erbringen konnten (dort herrscht eine geringere Sonnenenergieeinstrahlung als auf der Erde, da er weiter entfernt von der Sonne ist). Interessant ist auch, dass die Solarzellen nicht zum Laden des Akkus gedacht waren, denn der Rover hatte eine nicht aufladbare Batterie an Bord. Tagsüber konnte er also mit Sonnenenergie betrieben werden, auch wenn die Batterie schon so gut wie leer war.

2003 folgte die sehr umfangreiche MER-Mission (*Mars Exploration Rover*), die aus gleich zwei Rovern bestand, Spirit und Opportunity. Die Rover sind baugleich und wurden in einem Abstand von nur einem Monat nacheinander auf den Mars geschossen.

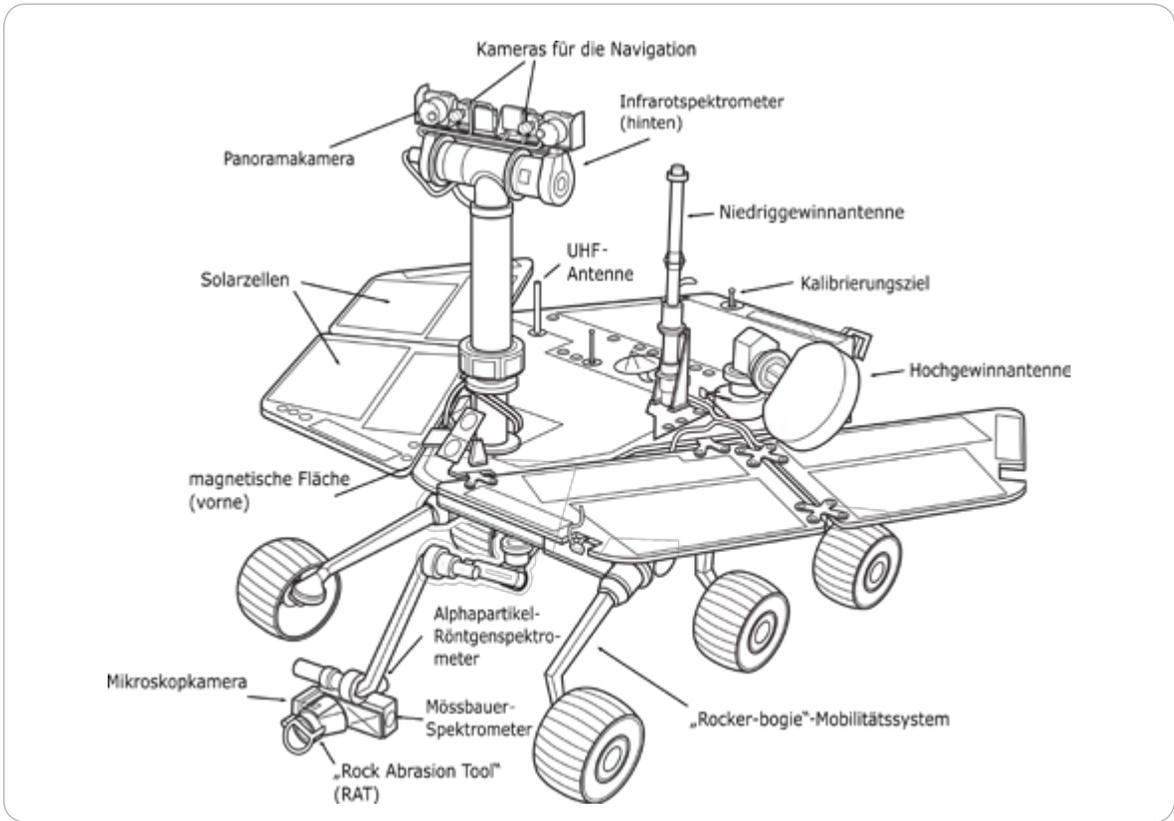


Künstlerische Darstellung des MER-Rovers Spirit.

Sie landeten in zwei unterschiedlichen Marsregionen und erkundeten, weit über ihre vorgesehene Lebensdauer hinaus, den Mars. Der Rover Opportunity ist tatsächlich schon seit 2004 auf dem Mars und immer noch voll mit wissenschaftlichen Aufgaben beschäftigt.

MARSROVER SOJOURNER

Der Marsrover Sojourner wurde 1997 mithilfe einer Landekapsel namens Mars Pathfinder auf dem Roten Planeten abgesetzt. Der kleine Rover wog nur 10,6 Kilogramm und erkundete den Mars drei Monate lang.

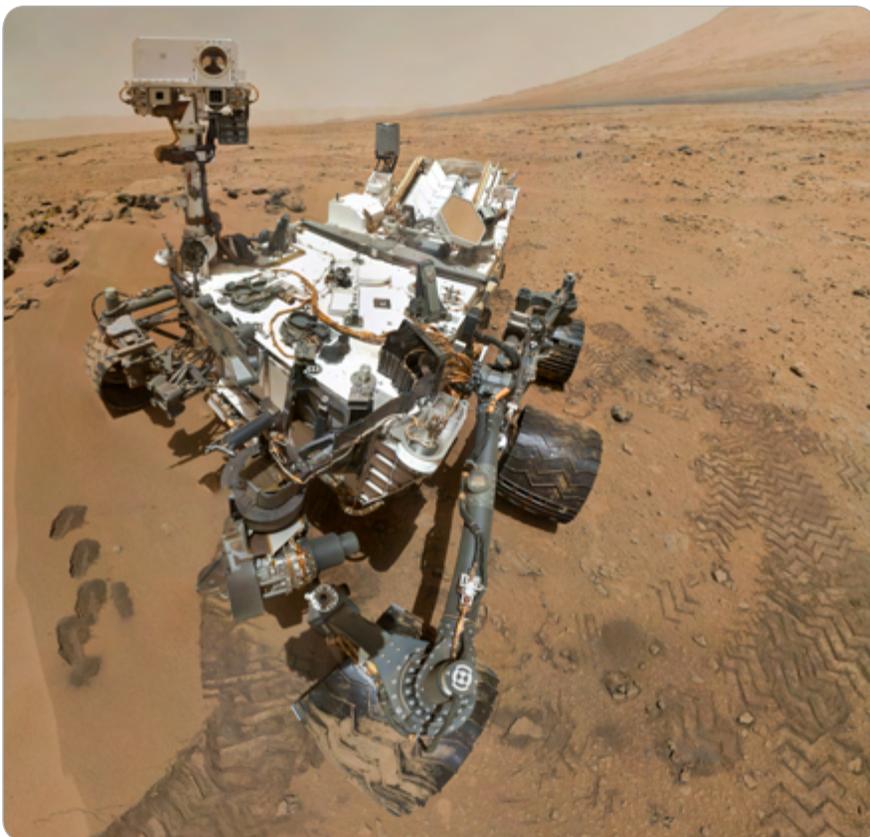


Aufbau der NASA-MER-Rover Spirit und Opportunity.

Eigentlich waren die Rover für lediglich 90 Tage ausgelegt, es war also ein echter Erfolg in der Raumfahrttechnik. Im Gegensatz zum Sojourner Rover wiegen die MER-Rover 185 Kilogramm und besitzen eine Solaranlage, die circa 300 W liefern kann, sowie einen aufladbaren Akku. Die Rover haben auch einiges mehr an wissenschaftlichem Gerät dabei, wie beispielsweise einen geologischer Bohrer.

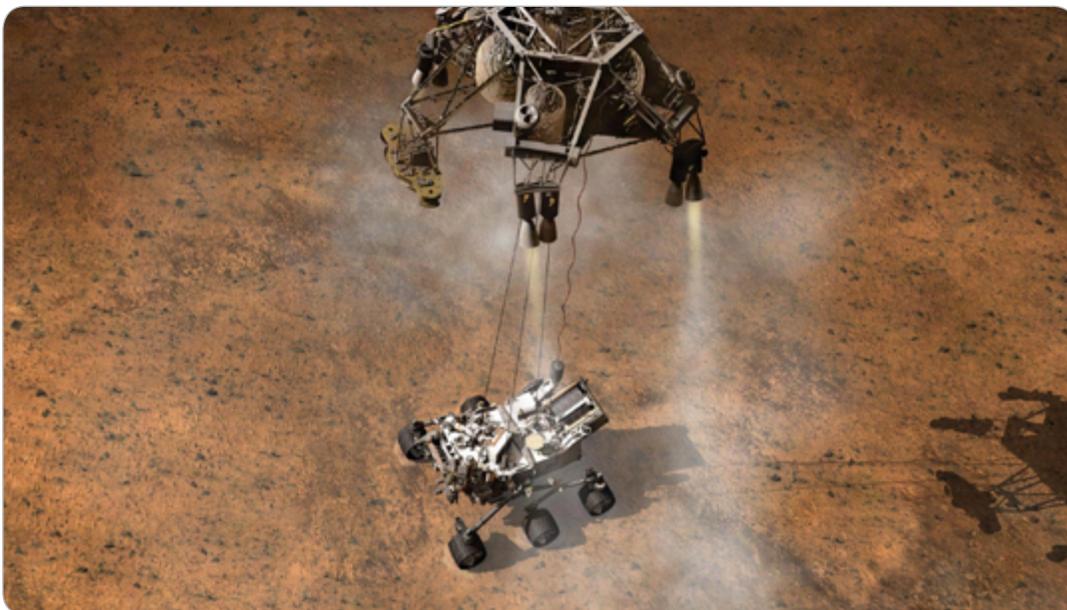
Curiosity ist der zurzeit größte und modernste Rover auf dem Mars.

Im Gegensatz zum 185 Kilogramm schweren MER-Rover wiegt Curiosity stolze 900 Kilogramm, so viel wie ein Kleinwagen. Der Rover landete im August 2012 sehr spektakulär auf der Marsoberfläche. Die Sonde, die den Marsrover auf der Oberfläche absetzte, klinkte wenige Hundert Meter über dem Grund ein sogenanntes Skycrane-System aus, an dem der Rover unten befestigt war. Das mit Raketenantrieb bestückte Landefährt zündete kurz vor der Oberfläche den Antrieb, ließ den Rover an einer Seilkonstruktion die letzten Meter auf die Marsoberfläche absinken, klinkte den Rover aus (setzte ihn ab) und flog dann auf und davon, bis es in sicherer Entfernung zum Rover aufschlug.



Selfie des Marsrovers Curiosity 2012 auf der Mars-oberfläche im Gale-Krater.

Künstlerische Darstellung des Marsrovers Curiosity beim Landemanöver mithilfe des Skycrane.



Interessanterweise trägt der Rover keine Solarzellen. Curiosity besitzt einen Lithium-Ionen-Akku, der tatsächlich nicht über Solarzellen aufgeladen wird, sondern über einen Atomantrieb, genauer gesagt mithilfe einer Radionuklidbatterie. Hier wird tatsächlich der radioaktive Zerfall eines Isotops in elektrische Energie umgewandelt, was dem Rover eine Energie von 2,5 Kilowattstunden pro Tag beschert. Die Energieversorgung sollte mit dieser Technologie für 14 Jahre gesichert sein. Curiosity besitzt weit mehr wissenschaftliche Instrumente und Kameras als seine Vorgänger. Über zehn verschiedene Messinstrumente und Gerätschaften sind an dem Rover verbaut.

Teil- und vollautonome Roverfahrzeuge werden aber nicht nur in der Raumfahrt eingesetzt. Die Technologie der autonom agierenden Fahrzeuge findet sich auch immer öfter in unserem Alltag. Wer hat nicht schon von den autonom fahrenden Autos von Google, Tesla & Co. gehört, die uns in Zukunft einmal das Steuern des Autos abnehmen werden?

Auch kleinere Gefährte, wie der Paketroboter der Firma Starship Technologies, sind zurzeit in der Erprobungsphase und sollen uns in Zukunft einmal die Pakete bis vor die Haustür liefern.



Rasenmäherroboter.

Was uns die Arbeit im Alltag tatsächlich zunehmend erleichtert, sind autonom fahrende Roboter und Rover. In immer mehr Gärten und Häusern finden sich kleine Roboter, die uns das Leben erleichtern, indem sie uns vollautomatisch den Rasen mähen oder den Fußboden staubsaugen oder sogar wischen.

Viele Roboterfahrzeuge finden sich also schon in unserem Alltag, und es wird wohl immer mehr davon geben. Die Technologie steht gerade erst am Anfang, aber die Zukunft der Rovertechnik wirft schon jetzt ihren Schatten voraus, und wir können uns auf eine faszinierende und erstaunliche Technologie freuen.

WIE WIRD EIN ROVER ZUR DROHNE?

Da wir nun wissen, was ein Rover ist, gelangen wir zu der Frage, was eigentlich der Unterschied zwischen einem reinen Rover und einer Roverdrohne ist. Nun, zuerst einmal müssen wir wissen, was der Begriff »Drohne« überhaupt bedeutet. Das Wort »Drohne« hat verschiedene Herkunftsrichtungen und bezeichnet beispielsweise auch die Arbeiterbiene in einem Bienenstock. In technischer Hinsicht stammt die Bedeutung des Worts allerdings aus dem Militärbereich.

Um Kampfpiloten an den Umgang mit scharfer Munition heranzuführen und Luftkämpfe so realistisch wie möglich zu gestalten, entwickelte das Militär schon sehr früh Flugzeuge ohne Bewaffnung, die unbemannt geflogen werden konnten und Übungszwecken dienten. Diese Flugzeuge wurden Drohnen genannt. Daher wird das Wort »Drohne« in der breiten Bevölkerung auch heute noch größtenteils mit Militär, Spionage oder Krieg verbunden.

Tatsächlich wird der Begriff aber sehr umfangreich und allgemein definiert. Als Drohne werden alle Fahrzeuge bezeichnet, egal ob Flugzeuge, Autos oder Schiffe, die unbemannt sind und ferngesteuert werden oder autonom agieren. Hieraus wird ersichtlich, dass es eine Unterteilung in Luft-, Land- und Wasserfahrzeuge gibt. Dafür werden in der Fachsprache eindrucksvoll klingende englische Wörter und Abkürzungen verwendet. Eine Flugdrohne wird auch als UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), ein Landfahrzeug als UGV (*Unmanned Ground Vehicle*) und ein Schiff als USV (*Unmanned Surface Vehicle*) bezeichnet.

Bei unserer Roverdrohne handelt es sich um ein sogenanntes UGV. Streng genommen sind tatsächlich auch schon kleine Spielzeugautos, die wir im Supermarkt kaufen können, Drohnen. Ein ferngesteuertes Auto bietet eine Möglichkeit, eine Roverdrohne zu bauen. Soll solch ein RC-Auto auch selbstständig fahren können, soll es also automatisch (autonom) seinen Weg finden oder eine vorher definierte Strecke abfahren, werden weitere Bauteile benötigt, um aus einem ferngesteuerten RC-Auto eine selbstfahrende Autodrohne zu machen.

Es gibt viele Möglichkeiten, einen Rover so auszustatten, dass er eine vorher definierte Strecke abfährt. Im Bereich der Lego®-Kategorie Lego®-Mindstorms beispielsweise können an einem fahrenden Roboter viele verschiedene Parameter eingestellt werden, damit er automatisch eine gewisse Zeit oder eine bestimmte Strecke geradeaus oder in Kurven abfährt. Mithilfe eines Ultraschallsensors kann ein solcher Lego®-Roboter sogar eine Kollision mit Hindernissen vermeiden. Dieses System zur Steuerung und grundlegenden Programmierung eines Roboters ist gerade für die ersten Schritte im Bereich der Robotik gut geeignet.

Wer schon mehr Erfahrung im allgemeinen Bereich der Mikrocontroller oder der Robotik hat, kann einen fahrenden Roboter, also in unserem Sinn eine Roverdrohne, auch mithilfe von Arduino-basierten Mikrocontrollern oder mit einem Raspberry Pi bauen. Diese Controller können ebenfalls mit verschiedenen Sensoren ausgestattet werden und eignen sich ebenfalls dazu, einen Rover zu einer Roverdrohne umzubauen.

Uwe Schneider

Foto-Drohnen

Das Handbuch für den Copter-Piloten

**Technik, Flugrecht,
Foto- und Video-Know-how
aus erster Hand**

Vorwort





Seit fast 40 Jahren begleitet mich das Thema Fotografie. Damals betrat ich als junger Mann eine Bremer Lokalredaktion und wollte Journalist werden. Die Redaktion hatte gerade Personalnot, und damit war ich von heute auf morgen Polizeireporter. So begann meine journalistische Karriere. Doch schreiben allein reichte mir nicht, eine Kamera musste her. Eine Spiegelreflexkamera von Nikon! Damals die Kamera, die man als Reporter haben sollte. Film rein, und los ging's. 36 Aufnahmen, dann war der Film voll.

Ergebnis der Arbeit? Offen!

Es folgte die Entwicklung des Films und anschließend in der Dunkelkammer der Entwicklungsprozess des Fotopapiers. Auch die Dunkelkammer faszinierte mich. Ich eignete mir das Wissen an und konnte meine fotografische Arbeit schnell selbst vor Ort in der Dunkelkammer entwickeln, das Fotopapier belichten und es dann durch die Entwicklungsbäder schieben. Bis das Bild schließlich fertig war, verging Zeit. Und dann? Wenn das Ergebnis nicht befriedigend war, landete der Schnappschuss in der Tonne. Gute Schnappschüsse sind einfach nicht wiederholbar, da sie situationsbedingt einzigartig sind. Pech!

Ich habe als Journalist über Jahre hinweg die digitale Revolution hautnah miterlebt. Habe mit dazu beigetragen, dass in Redaktionen Laptops mit Modems Einzug hielten, um brandaktuell vom Ort des Geschehens berichten zu können. Habe die digitale Fotografie von Anfang an begleitet und ihre rasante Entwicklung aktiv mitgetragen. Am Anfang belächelten mich die anderen anwesenden Fotografen, die mit ihren analogen Spiegelreflexkameras bei der nicht zu wiederholenden einzigartigen Momentaufnahme in der Regel haushoch überlegen waren, als ich mit meiner digitalen Kamera auftauchte.

◀ **Der Autor dieses Buchs, Uwe Schneider, im Visier seines eigenen Copters, dem DJI Mavic Pro.**

*Kamera DJI :: FC220 :: ISO 100 :: Brennweite 4,73 mm ::
Blende 2.2 :: Belichtungszeit 1/344 s*

■ VORWORT

Hatte man als digitaler Revoluzzer aber das Glück, einen dieser einzigartigen Momente ins rechte Licht rücken und mittels digitaler Kamera auf der Speicherkarte einfangen zu können, zeigte sich, warum die digitale Fotografie diesen Siegeszug angetreten hat. Das Foto konnte, unmittelbar nachdem es gespeichert war, auf den Laptop übertragen und per Modem direkt an die Redaktion gesendet werden. Von dort ging es weiter in die Druckerei. Nur drei Schritte – die analoge Fotografie dagegen musste viele zeitaufwendige Schritte durchlaufen, bevor das Bild die Redaktion überhaupt erreicht hatte.

Im Bereich der Fotografie habe ich immer wieder neue Herausforderungen gesucht. Luftbilder, aufgenommen aus Flugzeugen, gehörten genauso dazu wie die Unterwasserfotografie. Jahrelang habe ich für ein bekanntes deutsches Tauchsportmagazin gearbeitet und von den Tauch-Eldorados der Welt in Text und Bild berichtet.

Nun ist für mich eine neue Herausforderung dazugekommen: die Luftbildfoto- und -videografie. Als der Multicopter-Hype vor ein paar Jahren in Deutschland begann, schaute ich mir die Materie zuerst als interessierter Beobachter an. Ich erinnerte mich an meine Luftbildaufnahmen aus Flugzeugen heraus, die stets unter schwierigen, aufwendigen Bedingungen entstanden sind. Und an meine Idee, mittels eines mobilen Großstativs neue Perspektiven für Fotoaufnahmen zu realisieren. Das Fotografieren aus Flugzeugen heraus ist immer problematisch – beispielsweise aufgrund der Mindestflughöhe oder auch der Reflexionen, die sich daraus ergeben, dass zwischen Motiv und Kameralinse stets ein Fenster, nämlich das des Flugzeugs, ist. Und das mobile Teleskopstativ? Mal eine Zeit lang ganz aktuell, doch viel zu unflexibel und teuer. Wenn dann das Wetter nicht mitspielte, war bereits die Vorplanung eine kostspielige Angelegenheit.

Daher wuchs in mir schnell das Bedürfnis, aus der reinen Beobachterrolle herauszuschlüpfen und als Copter-Pilot selbst aktiv zu werden. Gedanken wie »Kann ich das überhaupt?« oder »Kann ich mit den Joysticks an der Fernsteuerung das Ding so bewegen, dass es abhebt, in der Luft bleibt und auch sicher wieder landet?« gingen mir durch den Kopf.

Ich schaute mir den Markt genauer an und sondierte die zahllosen Angebote. Ich entschied mich dafür, erst einmal einen einfachen Copter für wenig Geld anzuschaffen. Die Wahl fiel auf einen Syma-Copter: den X5SW. Alles easy, der Copter kam und war sofort einsatzbereit.

Rumms! Schon wenige Sekunden nach dem ersten Start direkt im Büro knallte der Copter unsanft gegen den Schreibtisch. Nach und nach gelang es mir, ihn in der Luft und einigermaßen stabil auf einem Fleck zu halten. Auch das Steuern wurde von Mal zu Mal besser.

Somit kam die nächste Stufe – der Gang nach draußen. Stolz wie Oskar startete ich den Copter im eigenen Garten. Er stieg und stieg, und auf einmal rauschte er ab und landete in 15 Metern Höhe im Baum. Der Wind, der in der Höhe herrschte, trieb den Copter ab und ließ ihn sich wenig später in den Zweigen verhaken. Ein halbes Jahr hing er dort, dann schaffte es ein Sturm, dass er wieder herabrutschte und unsanft, aber unbeschadet am Boden ankam. Die Zeit im Baum hatte er gut überstanden, alles funktionierte noch tadellos. Doch ich hatte das Vertrauen in ein solches Vehikel verloren. Er befindet sich zwar noch in meinem Besitz, wird aber nicht mehr geflogen.

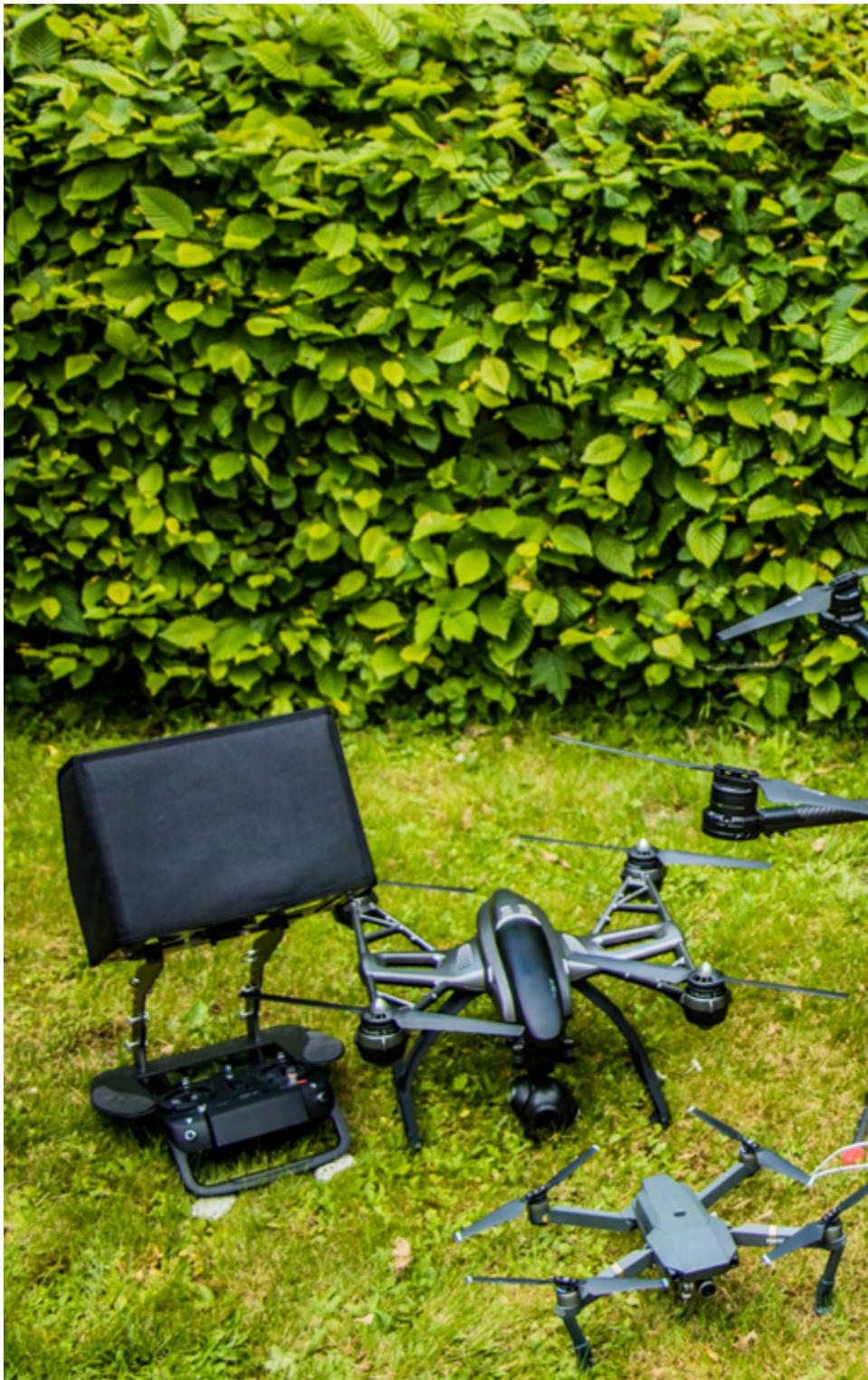
Die Lust am Fliegen war mir jedoch nicht abhandengekommen. Im Gegenteil! Heute befinden sich neben dem besagten (ausrangierten) Syma-Copter noch ein Yuneec Q500 4K, ein DJI Mavic Pro sowie ein großer Quadrocopter auf DJI-Basis mit N3 sowie Lightbridge in meinem Hangar.

Zwischenzeitlich habe ich natürlich auch eine Copter-Schulung absolviert, bin Mitglied im Bundesverband der Copter-Piloten, die Copter sind allesamt auf gewerblicher Basis versichert, und für die Bereiche Niedersachsen sowie Mecklenburg-Vorpommern habe ich jeweils eine allgemeine Aufstiegsgenehmigung, die heute aber aufgrund der neuen, seit April 2017 geltenden Drohnen-Verordnung ihre Gültigkeit verloren haben.

Nun heißt es »ready for take-off« – ich hoffe, ich kann Ihnen mit meinen Erfahrungen weiterhelfen und dazu beitragen, dass Sie mit Spaß und Freude mehr als eine gute Geschichte auf die Beine stellen können.

► Mein Copter-
Hangar.

*Canon EOS 80D ::
Objektiv EF-
S18-135 mm
f/3.5-5.6 IS STM ::
ISO Auto ::
Brennweite 29 mm ::
Blende f/4 ::
Belichtungszeit
1/200 s*





Vorwort	5
Einleitung	16
1. Hype oder Kulturphänomen?	22
Unbemannte Luftfahrzeuge	24
Aerial Culture – Fliegen mit Verantwortung	25
Vogelperspektive – ab in die Luft!	28
Vor dem Abheben mit Fotoequipment	28
Einsatzbereiche für Multicopter	29
Selfie-Revolution	33
Großer Spaß mit Luft-Selfies	34
2. Wohin geht die Reise?	38
Mainstream und Spezialisierung	40
Der Weg vom Hobby- zum Profipiloten	40
Entscheidungshilfe für einen Copter	42
Quadro-, Hexa- und Octocopter	44
Wichtige Multicopter-Bauformen im Detail	44
Meine aktuellen Top-6-Multicopter	46
DJI Inspire 2	48
Der Ferrari der Lüfte	49
Das Design des Inspire 2	50
DJI Inspire 1	55
Das »alte« Flaggschiff	56
DJI Phantom 4	60
Einfach, Advanced und Pro	60
Yuneec Typhoon H	64
Der Hexacopter mit Profiambition	66
DJI Mavic Pro	68
Klein, fein und leistungsfähig	71

Yuneec Typhoon Q500 4K	73
Das Ready-to-fly-Komplettsystem	75
Copter-Technik	78
Wichtige Komponenten eines Copters	78
Copter-Kamera-Gimbal-Systeme	80
DJI-Osmo-Modellsortiment	81
Kameravergleich in der Praxis	84
Lithium-Polymer-Akku	90
Standardflugmodi im Detail	95
Flug- und/oder Aufnahmemodi	96
Flugplanungs-Apps	100
Zubehör für Anfänger	101
Mein Fazit	104
US4K - der individuelle Quadrocopter	105
3. Gesetze und Versicherungen	106
Neue Drohnen-Verordnung	108
Grundstücke überfliegen	108
Achtung, Solarfelder	109
Ausnahmegenehmigungen	110
Copter-Kategorien	110
Führerschein	110
Flugverbotszonen	110
Einheitliche EU-Regelung	118
Blick ins Medienrecht	119
Panoramafreiheit und Ensemblefreiheit	119
Verletzung der Persönlichkeitsrechte	121
Copter-Versicherung	122
Spezielle Copter-Versicherungen	122
Was, wenn der Copter abstürzt?	124

4. Der Copter-Flug	126
Flugplanung mit Sorgfalt	128
Aufstiegsgenehmigung einholen	129
Luftraumbeschränkungen prüfen	129
Temporäre Flugverbotszonen	130
Wetterauskunft einholen	131
Sonnenstand am Aufnahmeort	132
Last, but not least	133
Flugvorbereitung @ Home	134
Ordnungsbehörden informieren	134
Wettercheck mit UAV Forecast	135
Zustand des Copters überprüfen	136
Flugvorbereitung @ Startpoint	138
Ready for Take-off	141
Motoren beschleunigen und abheben	141
Flugnachbereitung	142
Copter als Arbeitsbegleiter	143
Praxis: Landwirtschaft der Zukunft	143
Praxis: Solaranlageninspektion	146
Praxis: Copter im Handwerk	149
Praxis: Bei der Vermisstensuche	149
5. Foto und Video	150
Perspektiven und neue Horizonte	152
Grundlegende Stimmung eines Fotos	152
Normal-, Frosch- und Vogelperspektive	157
Harmonische Bildaufteilung	159
Wirkungsvoller Bildausschnitt	159
HDR-Bilder mit mehr Dynamik	163
Panos und 360-Grad-Aufnahmen	164
Basiseinstellungen für Fotos	168

Basiseinstellungen für Videos	176
Bildrate für den Cinema-Look	176
Framerate und Belichtungszeit	177
ND-Filter gehören unbedingt dazu	179
ND-Filter und ihre Wirkung	179
ND-Filter für Copter-Einsätze	180
Perfekte Planung und Umsetzung	184
Erzählen nach der MOSE-Methode	184
Erzählung ausbauen mit W-Fragen	185
Beginn der Drehbuchplanung	186
Die Arbeit am Drehort	188
Aufnahmen aus einem Guss	188
Einstellungsgrößen und Handlungsachse	189
Foto- und Videonachbearbeitung	191
Rechnerleistung für Foto und Video	191
Wahl einer geeigneten Software	192
Jedem Foto seine Story	196
Offshore-Safety-Trainingscenter	197
Fintlandsmoor	197
Gärten der Sinne	199
Jade-Weser-Port	200
Norwegian Joy - vom Dock zum Dollart	201
Ottos Leuchtturm	209
Der versunkene Glockenturm	210
Mast-Duett - nur auf Zeit!	212
Thunder in der Lürssen-Werft	213
Rost nagt an der Transrapidstrecke	214
Anhang	216
Links	218

Bildnachweis

Einleitung





■ EINLEITUNG

Die Digitalisierung hat in den vergangenen Jahren eine Revolution in der Arbeitswelt mit sich gebracht – kein Lebensbereich, der nicht in irgendeiner Form von dieser Wandlung betroffen war. Von analog zu digital vollzog sich auch ein rasanter Wandel im Bereich der Foto- und Videografie. Aber nicht nur die Digitalisierung spielte hier eine Rolle, auch die Perspektive des Fotografierens sollte sich erweitern. Unter dem Motto »neue Horizonte, neue Perspektiven« erfahren sogenannte Fotocopter eine rasante Entwicklung weltweit. Allein in Deutschland wird die Zahl der fernbedienten Fluggeräte auf rund 500.000 geschätzt. Früher mussten Luftaufnahmen aufwendig aus einem Flugzeug oder mithilfe mobiler Teleskopstative etc. gemacht werden.

Die Zeiten ändern sich – rapide! Vor Jahren noch waren Luftbilder Hunderte Euros wert. Ein Bild vom Eigenheim aus der Vogelperspektive wurde teuer bezahlt und goldfarben eingerahmt. Dafür mussten in der Regel eigens ein Pilot und ein Fotograf ins Flugzeug steigen und gemeinsam abheben. Doch diese Exklusivität aufgrund des hohen Aufwands ist vorbei. Die Fotocopter übernehmen, der Mensch bleibt am Boden. Diese Art von Fluggeräten findet sich mittlerweile selbst im Sortiment von Drogeriemärkten. Copter für jedermann? Wer weiß, wo uns das noch hinführen wird. Momentan zu vielen tollen Luftbildbänden und ebensolchen Videos auf YouTube, für die keine Cessna mehr vom Boden abheben muss.

Heutzutage heißt es binnen weniger Minuten »ready for take-off«. Dann hebt der Multicopter ab, bestückt mit hochwertigem Kameraequipment – Kameras, die hochauflösende Fotos, 4K-Filme oder Multispektral- beziehungsweise Wärmebilder aufzeichnen können. Die Qualität der Bilder kann oftmals schon direkt nach der Aufnahme während des Flugs mithilfe der Bodenstation kontrolliert werden, damit man sie gegebenenfalls gleich noch einmal wiederholen kann.

Das vorliegende Buch soll Copter-Piloten dahin gehend unterstützen, das volle Potenzial eines Multicopter auszureizen. Es zeigt ihnen unter anderem den aktuellen Stand des Copter-Equipments, gibt Tipps für gute Fotografien und Videos sowie Ratschläge bezüglich der Vor- und Nachbereitung und wirft auch einen Blick auf die aktuelle rechtliche Situation.

Die Entwicklung der Copter-Technologie – in Hard- wie auch in Software – ändert sich schnell. In diesem Buch liegt der Schwerpunkt auf aktuellen Produkten aus dem Hause DJI und Yuneec. Hinzu kommen Apps von Adobe sowie vielen anderen Anbietern, die einem das Fliegen erleichtern können.

Es ist deshalb leider nicht auszuschließen, dass sich bereits während der Produktion des Buchs Veränderungen einstellen, die hier keine Berücksichtigung finden können. Des Weiteren kann für Hard- und Software keine Garantie auf Vollständigkeit übernommen werden.

Dieses Buch soll dazu beitragen, dass ein Copter-Flug zu einem großartigen Erlebnis mit mehr als einer interessanten Story wird.

▶ **Der wunderschöne Gardasee im Frühjahr mit Blick in Richtung Lazise.**

DJI Mavic Pro :: Brennweite 4,73 mm :: Blende f/2.2 :: Belichtungszeit 1/400 s :: ND16





KAPITEL 1

Hype oder Kulturphänomen?





■ **Unbemannte Luftfahrzeuge 24**

Aerial Culture - Fliegen mit Verantwortung 25

■ **Vogelperspektive - ab in die Luft! 28**

Vor dem Abheben mit Fotoequipment 28

Einsatzbereiche für Multicopter 29

■ **Selfie-Revolution 33**

Großer Spaß mit Luft-Selfies 34

Von einer ursprünglich rein militärisch gedachten Idee einer Drohne zu einem Kulturphänomen unserer Gesellschaft? Die Historie unbemannter Luftfahrzeuge zu einem Hype unserer Gegenwart ist mehr als bemerkenswert. Ein unbemanntes Luftfahrzeug (engl. Unmanned Aerial Vehicle, UAV, neuer auch Unmanned Aircraft, UA, oder Unmanned Aircraft System, UAS) ist ein Luftfahrzeug, das ohne eine an Bord befindliche Besatzung durch einen Computer oder über eine Fernsteuerung vom Boden aus autark betrieben und navigiert werden kann.

UNBEMANNTEN LUFTFAHRZEUGE

Zu Deutschen werden unbemannte Luftfahrzeuge oft umgangssprachlich als Drohnen bezeichnet, ein Begriff, der – leider – sowohl für militärisch oder kommerziell genutzte Luftfahrzeuge als auch für per FPV (*First Person View*) gesteuerte Flugmodelle wie Quadrocopter genutzt wird.

In der Luftfahrt bezeichnet der Begriff Drohne ursprünglich ein unbewaffnetes militärisches Übungsziel. Unbemannte ferngesteuerte Flugkörper werden seit dem frühen 20. Jahrhundert für verschiedene Zwecke eingesetzt. Während anfänglich experimentelle Ziele verfolgt wurden, kam es mit Beginn des Kalten Kriegs auch zur Übernahme militärischer Aufgaben.

Die UAs dienten anfänglich ausschließlich als Zieldrohnen zur Zielsimulation der Flugabwehr. Später kam die militärische Aufklärung hinzu: Mit der Lockheed D-21 wurde 1966 ein überschallschnelles Aufklärungs-UA entwickelt, mit der Westland Wisp kam 1976 ein Hubschraubersystem zum Einsatz. Von 1995 an standen dem Militär mit der General Atomics MQ-1 mit Luft-Boden-Raketen bewaffnete unbemannte Luftfahrzeuge zur gezielten Bekämpfung von Bodenzielen zur Verfügung. Als bislang größtes Flugzeug wurde im Rahmen der Controlled Impact Demonstration (engl. für Demonstration eines kontrollierten Aufschlags) 1984 ein Verkehrsflugzeug ferngesteuert und kontrolliert zum Absturz gebracht.

In jüngerer Zeit wurden UAs zum Gegenstand öffentlicher Debatten wegen ihrer regelmäßigen Verwendung zur umstrittenen »gezielten Tötung« von Terrorverdächtigen durch die Vereinigten Staaten, vor allem bei geheim gehaltenen Einsätzen in Pakistan. Mit der zunehmenden Verbreitung kleiner, preiswerter UAs bei gewerblichen und staatlichen Betreibern sowie von aufzeichnungsfähigen Flugmodellen bei Privatpersonen, die auch zur Überwachung eingesetzt werden könnten, bekamen Themen wie informationelle Selbstbestimmung und Datenschutz neues Gewicht in der Diskussion.

Ich persönlich mag den Begriff Drohne nicht. Ich würde mir wünschen, dass sich alle ähnlich Denkenden meinem Wunsch anschließen und wir in diesem Zusammenhang künftig lieber ausschließlich von »Multicopter« redeten. Der Begriff Drohne weckt aufgrund des ursprünglich rein militärischen Zwecks heutzutage in der Gesellschaft negative Assoziationen. Dies spiegelt sich leider auch oftmals in der aktuellen öffentlichen Diskussion sowie in der Medienberichterstattung zu diesem Thema wider. Mit Drohnen werden Kriege verbunden, aber auch Spionage und Voyeurismus. Deshalb möchte ich mich von dem Begriff Drohne distanzieren und aufzeigen, dass ein Multicopter weit mehr ist als eine militärische Waffe oder ein Werkzeug zum ungebetenen Eindringen in die Privatsphäre.

Aerial Culture – Fliegen mit Verantwortung

Copter-Piloten, die Mitglied im Bundesverband Copter Piloten e.V. (BVCP) sind, haben die Initiative »Aerial Culture – Fliegen mit Verantwortung« ins Leben gerufen, um dem negativen Image entgegenzuwirken und deutlich zu machen, dass sie als Copter-Piloten umsichtig und verantwortungsvoll fliegen. Sein Selbstverständnis hat der Verband in zehn Punkten zusammengefasst:



- 1 Wir pflegen stets eine Kultur des respektvollen Umgangs und der Rücksichtnahme untereinander und gegenüber der Gesellschaft.
- 2 Wir fliegen im Zusammenhang mit einer unternehmerischen Tätigkeit als Copter Pilot nie ohne Genehmigung/Lizenz der zuständigen Behörden.
- 3 Wir wahren und respektieren grundsätzlich die Privatsphäre und den personenbezogenen Datenschutz.
- 4 Wir tragen die Verantwortung, uns stets über lokale Vorschriften zu informieren und halten uns an die gesetzlich vorgeschriebene Flughöhe.
- 5 „Always safe“: Wir halten uns an die Vorschriften für Flugsicherheit und den Betrieb des Copters, sowie an die gesetzlichen Bestimmungen.
- 6 Als gewerbliche Copter Piloten bieten wir unsere Leistung zu marktgerechten Konditionen an und unterstützen kein Preisdumping.
- 7 Als private Copter Piloten führen wir unser Hobby stets verantwortungsbewusst aus.
- 8 Wir pflegen einen höflichen Umgangston innerhalb der Community, untereinander und über die sozialen Medien.
- 9 Wir fördern das Wissen über Copter und stärken so das positive Bild der Copter Piloten in der Öffentlichkeit.
- 10 Wir fliegen nur mit gültiger Haftpflichtversicherung.

Wir gehen mit gutem Beispiel voran.

▲ Die zehn Aerial-Culture-Regeln. (Quelle: Bundesverband Copter Piloten e.V.)



◀ Das Logo des Bundesverbands der Copter-Piloten. (Quelle: Bundesverband Copter Piloten e.V.)

»In Deutschland gibt es bereits zahllose Copter, Tendenz steigend. Leicht zu steuern, leicht zu erlernen und immer vielfältiger einsetzbar«, heißt es dazu seitens des BVCP. Die Multicopter seien ein beliebtes Hobby, aber oft auch ein nützliches und kostensparendes Hilfsmittel im beruflichen Alltag. Mit der Zunahme der Multicopter im Luftraum wachse aber das Risiko und die Verantwortung jedes einzelnen Piloten, so die Verbandsspitze.

Und weiter: Immer häufiger höre man in den Medien von gedankenlosem Verhalten einzelner Steuerer oder Meldungen über Beinahe-Kollisionen von Coptern mit dem bemannten Luftverkehr. Diese gehen zulasten derjenigen, die sich im Luftraum verantwortungsvoll verhalten!

»Mit unserer Initiative möchten wir ein positives Zeichen setzen, das nicht nur Verpflichtung nach innen ist, sondern ebenso ein Versprechen an die Öffentlichkeit, dass wir uns als Mitglieder des BVCP für ein verantwortungsbewusstes Fliegen und den rücksichtsvollen Einsatz von Coptern einsetzen«, erklärt BVCP-Vorsitzender Christoph Bach.

Von den vielen Technologien, die unsere Fantasie in den vergangenen fünf Jahren angeregt haben, gab es nur wenige, an die so hohe Erwartungen gestellt wurden wie an die Entwicklung der Multicopter. Diese Hightech-Fluggeräte haben einen neuen kulturellen Zeitvertreib in unsere Gesellschaft gebracht, der Hobby-Enthusiasmus und die simple menschliche Neugier am Himmel vereint.

VOGELPERSPEKTIVE – AB IN DIE LUFT!

Schon immer wollte der Mensch den Vögeln naheifern und die Welt aus einer anderen Perspektive erleben. Neue Perspektiven, neue Horizonte. Diesem Wunschgedanken kann jetzt ein jeder ein Stückchen näherkommen. Mit einem professionellen Multicopter – ausgestattet mit hochauflösender Kamera – entstehen dabei erstaunliche Bilder und Ansichten. Oft sind Betrachter beeindruckt von Bildern aus Skandinavien, Irland oder Kanada, dabei gibt es solche Bilder auch in unseren Breiten.

Die Luftbilder zeigen Perspektiven, die ein Spaziergänger nie zu sehen bekommt. Wer kann schon in schneller Geschwindigkeit in 30 Zentimetern Höhe über ein heimatliches Gewässer fliegen oder eine über ein großes Tal gespannte Brücke mal eben von oben einfangen? Ein hoher technischer Standard und die Beherrschung der Technik sind dafür Voraussetzung. Es gehört einige Übung dazu, einen Copter zu fliegen und gleichzeitig Aufnahmen zu machen beziehungsweise zu filmen!

Vor dem Abheben mit Fotoequipment

Die Möglichkeiten, mit Fotoequipment abzuheben, waren sicherlich nie größer als heute. Nehmen wir nur die Option der Multicopter, mit denen man sich die Luftbildfotografie erschließen kann. Wer diesen Weg wählt, muss selbst nicht mehr mit abheben. Doch Achtung, denn an die Vorschriften muss man sich zu Recht halten. Leider tun das nicht alle, und deshalb kommt es immer wieder zu Berichterstattungen von Beinahe-Unfällen zwischen Multicoptern und Flugzeugen, Autos und Menschen.

Nur weil sich einige nicht an bestehende Gesetze und Regeln halten, verschärfen sich die Vorschriften. So ist mittlerweile der Multicopter-Führerschein – im Amtsdeutsch Kenntnissnachweis – Pflicht! Dies erachte ich übrigens als gar nicht so negativ, denn der sichere Umgang mit Multicoptern muss gelernt sein. Auch wenn ich bereits einen Lehrgang zum zertifizierten Copter-Piloten absolviert habe, bin ich aufgrund der neuen Drohnen-Verordnung verpflichtet, im Herbst 2017 nochmals die Schulbank zu drücken und den nun gesetzlich geforderten Führerschein zu machen.

Multicopter auspacken, Kamera montieren und ab in die Luft – das ist alles andere als ratsam! Schon allein im Interesse des teuren Kameraequipments sollte man sich bei der Neuanschaffung eines Multicopters nicht nur an die Vorschriften halten und die Bedienungsanleitung genauestens studieren, sondern auch Flugübungen durchführen, und zwar am Anfang ohne Gimbal und Kamera. Der Grund dafür ist, dass es gerade zu Beginn durchaus passieren kann, dass der Multicopter beispielsweise unsanft landet und Gimbal sowie Kamera Schaden nehmen.

Am Anfang stehen das sichere Starten und Landen! Wer es noch nie probiert hat, wird schnell feststellen, dass Übung den Meister macht. Anschließend sollte man Flugübungen mit seinem Multicopter durchführen. Als erste Flugübung gilt das Rechteck. Mithilfe dieser Flugübung kann man sich wunderbar mit dem Steuerungsknüppel vertraut machen. Gerade für Anfänger empfiehlt es sich, den Copter vor sich herfliegen zu lassen. So entspricht die Steuerung des Knüppels den Bewegungen des Fluggeräts, und man muss nicht umdenken. Sind die Flugübungen mit dem Rechteck abgeschlossen, sind die nächsten Schwierigkeiten das Vor- und Zurückfliegen sowie der Kreis, die Acht und eine Umlaufbahn.

Einsatzbereiche für Multicopter

Im Folgenden zeige ich ein paar Einsatzbereiche auf, die die rasante Vermehrung von Multicoptern erklären und die auch einen wichtigen Beitrag für unsere Gesellschaft leisten:

- **Lieferservice:** Das Großartige an Multicoptern ist, dass sie klein, schnell und agil sind, sich selbst steuern und Dinge transportieren können. Seit dem ersten Patent auf Copter-Zustellungssysteme von Amazon im April 2015 sind neue Entwürfe und Anwendungen entstanden. So gab es unter anderem Bestrebungen, einen luftschiffartigen Copter-Träger zu bauen, der in der Lage sein sollte, eine Flotte von Coptern direkt vom Himmel zum Einsatz zu bringen. In der Zwischenzeit haben Firmen wie Flirtey die Erlaubnis bekommen, mit Coptern kommerzielle Zustellungen für Lieferservices von Pizza über Wasserflaschen, Notfallessen bis hin zu Erste-Hilfe-Sets aufzubauen.

Weitere Ideen wären beispielsweise Rettungs-, Blutversorgungs- und Defibrillator-Copter – bei diesen Prototypen wären sowohl Erfolg als auch Nutzen unumstritten.

- **Filmen:** Im Jahr 2015 fand in New York das weltweit erste Copter-Filmfestival statt, kurz darauf wurden Festivals dieser Art auf der ganzen Welt veranstaltet. Im selben Jahr wurde der »Drones for Good«-Preis in Dubai ins Leben gerufen, der jährlich eine Million US-Dollar an Entwickler zahlt, die die besten Copter-Anwendungen an den Start bringen. Die Finalisten deckten eine weite Palette an Coptern ab, die entwickelt wurden, um zum Beispiel Biodiversität zu kartografieren, bis hin zu einem Rettungs-Copter, der weltweit den ersten Platz belegte.

Der preisgekrönte Filmemacher Liam Young drehte mit »In the Robot Skies« den ersten Film, der ausschließlich aus Copter-Aufnahmen besteht. Künstler setzen sogar 360-Grad-Kameras auf Copter, um Virtual-Reality-Perspektiven zu erzeugen, wie im Fall des preisgekrönten »In the Eyes of the Animal« des Marshmallow Laser Feast, wobei man Copter, LiDAR-Scans und Virtual Reality benutzte, um eine komplett neue Perspektive auf die Welt zu bieten.

- **Copter-Rennen:** Die Vereinigten Arabischen Emirate gründeten das welterste »Grand Prix Krone Racing«-Event, bei dem Luke Banister, ein Teenager aus Großbritannien, im Jahr 2016 die Spiele der Eröffnungsveranstaltung und damit ein Preisgeld von 250.000 US-Dollar gewann. Seitdem ist weltweit eine ganze Community von Copter-Rennen entstanden. Das erste professionelle Rennen wird 2017 in der o2-Arena in Großbritannien stattfinden.
- **Erhaltung:** Copter haben die besondere Fähigkeit, Teile unserer Umwelt zu erkunden, die man nicht ganz leicht einsehen kann. Die Geräte wurden von Umweltforschern dazu genutzt, die Natur auf eine Weise zu verstehen, wie es zuvor nie möglich war. Der Primatenforscher Serge Wich hat zum Beispiel Affen von oben beobachtet, indem er

verschiedene Copter-Systeme einsetzte. Neil Entwistle von der School of Environment and Life Sciences an der Salford University hat Überschwemmungsmuster in Großbritannien kartografiert, um herauszufinden, wie wir uns gegen Unwetterkatastrophen schützen können.

- **Journalismus:** Auch Journalisten haben bei der Nutzung von Coptern recht schnell begonnen. Das »Knight News Foundation«-Projekt entwickelt eine Anleitung für Copter-Journalismus, die Reportern dabei helfen soll, ethisch und sicher zu fliegen. In Ländern, in denen strenge Medienkontrollen herrschen, haben Copter einen besonderen Wert, um Orte zu erreichen, die zum Sperrgebiet erklärt wurden. So wurde beispielsweise in der Türkei der Copter eines Aktivisten, der angeblich versuchte, Bilder von Demonstrationen in Istanbul zu machen, von der Polizei abgeschossen.
- **Events:** Jüngst hat Intel mehrfach auf sich aufmerksam gemacht, indem es mit Coptern faszinierende Events auf die Beine stellte, etwa während der Halbzeitpause des amerikanischen Super-Bowl-Finales. Mit 500 gemeinsam agierenden und miteinander vernetzten Coptern wurde der Nachthimmel erleuchtet! Mit dieser Choreografie, »Tanz der Sterne«, erzielte der weltbekannte Prozessor-Hersteller Intel einen einmaligen Rekord, der sich im Guinnessbuch der Rekorde wiederfindet!

Die speziell für Lichtshows konzipierte Flotte von Intel-Shooting-Star-Drohnen stellte diesen Rekord für die meisten gleichzeitig in der Luft befindlichen unbemannten Flugobjekte im Oktober 2016 auf. Nur ein einziges Notebook und ein Pilot waren nötig, um die 500 Drohnen in einer bezaubernden Choreografie aufsteigen zu lassen und zu zeigen, welch komplexe Aufgaben ein Copter-Schwarm ausführen kann.

Ulli Sommer

FPV im Modellbau richtig betreiben

Videübertragung aus dem RC-Modell

FRANZIS

Vorwort

First Person View, kurz FPV, heißt die noch relativ junge Sparte des RC-Modellbaus. Es bezeichnet das Steuern eines RC-Modells – sei es ein Auto-, Boot- oder Flugmodell – aus der Perspektive des Piloten. In Deutschland ist auch der Begriff „Immersionsflug“ gängig. Im einfachsten Fall wird im Modell eine Funkkamera installiert, deren Bild in Echtzeit, also ohne Verzögerung, zum RC-Piloten übertragen wird. Der RC-Pilot betrachtet das Bild der Kamera entweder über einen Monitor oder über eine Videobrille. Dadurch wird der Modellpilot, der das Modell steuert, in die Position des Piloten im Modell versetzt. Es ist, als würde man sich selbst im Modell befinden. Das Erlebnis, z. B. in mehr als 200 m Höhe über den Modellflugplatz zu fliegen oder 3 cm über dem Asphalt mit dem Modellauto auf Erkundungsfahrt zu gehen, wird Sie so schnell nicht wieder loslassen. Dabei kann es vorkommen, dass Sie sich durch den realisti-

schen Eindruck mit in die Kurve legen, obwohl sie nur das Videobild vor Augen haben und eigentlich mit beiden Füßen am Boden stehen. Eine Grundvoraussetzung für dieses Hobby ist, dass Sie sich im RC-Modellbau bereits ein wenig auskennen, einen Lötkolben sicher beherrschen und Ihr Modell auf herkömmliche Weise bereits steuern können.

Was Sie für den Einstieg in das Thema FPV benötigen, welche technischen Möglichkeiten diese Sparte des Modellbaus bietet und was man alles selbst bauen kann, wird Ihnen dieses Buch vermitteln.

Mein Dank geht an Mario Scheel, der das erste Kapitel verfasst hat, und an Dieter Niegratschka, von dem Kapitel 10 stammt.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen, gutes Gelingen beim Bau Ihres eigenen FPV-Modells und einen guten Flug/eine gute Fahrt damit.

Ulli Sommer



(Bild: Thomas Riegler)

Inhalt

1	FPV – Grundlagen	9
1.1	Bedeutung und Entwicklung	9
1.2	Anwendungen	11
1.3	Anforderungen	12
1.4	Die Technik	12
1.5	Was benötigt man für den Einstieg?	15
1.6	Ergänzungen	16
2	Weitere Einsatzgebiete der FPV-Technik	17
3	Gesetzeslage	19
3.1	Wichtige Grundregeln	19
4	ISM-Frequenzen und Sendeleistung	21
5	Für FPV geeignete Modelle	23
6	Die FPV-Technik richtig verstehen	31
6.1	CCD-Kameras	31
6.2	CMOS-Kameras	33
6.3	Objektive	35
6.4	Videosender und -empfänger	39
6.5	Antennen und Funkwellenausbreitung	41
6.6	Antennenkabel	49
6.7	Diversity-Empfänger	50
6.8	Antennen-Tracker	51
6.9	Videobrillen und Monitore	54
6.10	OSD – alle Daten im Blick	55
6.11	Autopiloten und Flugstabilisierung	57
6.12	Pan/Tilt und Headtracker	59
6.13	Aufzeichnungsgeräte	61
6.14	Stromversorgung	65

7	Das erste FPV-Equipment für den Einstieg	67
7.1	Ausstattung Modell	67
7.2	Ausstattung Pilot/Bodenstation	67
8	Das erste Mal aus der Pilotensicht steuern	69
9	FPV-Equipment selbst zusammenstellen	71
9.1	Version 1	71
9.2	Version 2	73
9.3	Version 3	73
10	FPV-Scale-Cockpit	77
10.1	Hauptbestandteile des Cockpits	78
10.2	Die Elektronik des Cockpits	84
11	180°-Pan-Servo selbst bauen	87
12	5,8-GHz-Videosender und -empfänger im Eigenbau	91
13	Ein 5,8-GHz-Diversity-Empfänger für den Selbstbau	95
14	Antennen selbst bauen	103
14.1	Stecker und Adapter für hohe Frequenzen	103
14.2	Stabantenne mit Reflektor	107
14.3	Doppelquad-Antennen	110
14.4	Ring (Loop)	113
14.5	6-Turn-Helix-Antenne	116
14.6	Kleeblattantenne <i>Cloverleaf</i>	119
14.7	Halb- und Viertelwellenstrahler	123
15	Bezugsquellen	125

1 FPV – Grundlagen

Modellbau bedeutet, den originalen Maßstab in den verschiedensten Bereichen möglichst detailgetreu nachzubilden. Das betrifft das Aussehen und die Fahr- oder Flugphysik – und immer neue Materialien und Techniken lassen keine Wünsche mehr offen. Modellbau verlangt die Leidenschaft fürs Basteln, den Wunsch, Neues auszuprobieren und sich dabei in technische Details einzuarbeiten. So mancher Modellbauer hat sich schon die Frage gestellt, wie es wohl wäre, sich „an Bord“ seines Fahr- oder Flugzeugs zu befinden – nicht nur der Beobachter am Rande zu sein, sondern das Modell aus der Perspektive des Piloten zu beherrschen. Genau das wird nun mit FPV möglich und eröffnet somit, im wahrsten Sinne des Wortes, völlig neue Aussichten.

1.1 Bedeutung und Entwicklung

FPV (engl. First Person View – „Sicht aus der Ich-Perspektive“) ist eine relativ junge Sparte des RC-Modellbaus und existiert in Deutschland erst seit dem Jahr 2008. Die Vorreiter kamen, wie so oft, aus den USA und Kanada. In Deutschland spricht man von *Immersionsflug*, was so viel wie das „Eintauchen in das Flugerlebnis“ bedeutet.

Schnell entwickelte sich ein eigenständiger, auf dieses Thema spezialisierter Markt. Man hatte festgestellt, dass handelsübliche Komponenten (Kamera, Funkmodule, etc.) oft nicht gut geeignet waren, die Anforderungen hinsichtlich Gewicht, Reichweite und Qualität zu erfüllen. Mittlerweile gibt es komplexe Module



So sieht die Welt von oben aus: einfach fantastisch. (Bild: Globe-Flight)

Herrliche
Aussicht aus der
Pilotenperspektive,
wie sie der FPV-Pilot
nach erfolgreichem
Bau seines FPV-
Modells genießt.
(Bild: Globe-Flight)



Der Pilot steuert das
Modell direkt über die
Kamera. Ein Helfer,
der das Modell immer
im Auge behält,
sollte dabei sein, falls
die Funkverbindung
abreißt oder man sich
im Luftraum verirrt.
Denn aus Sicht des
Piloten sieht die Welt
ganz anders aus.



zur Dateneinblendung in das Videobild, den Autopiloten usw., deren Entwicklung ohne die speziellen Anwendungen von FPV in dieser Form nie zustande gekommen wäre. Die Grundidee besteht darin, eine Kamera so im Modell zu positionieren, dass man die Sicht

eines tatsächlich an Bord befindlichen Piloten hat. Das Bildsignal wird dann über eine geeignete Funkstrecke an einen Empfänger am Boden übermittelt. Per Monitor oder Brille kann das Videobild „live“ mitverfolgt werden. Relativ schnell ist man in der Lage, das Modell

anhand dieser Informationen zu fliegen. Aufgezeichnet lässt sich das Ereignis zu Hause nochmals ansehen.

Eine weitere Neuerung in diesem Bereich ist die Möglichkeit, die Kamera der Kopfbewegung entsprechend mittels *Headtracker* zu schwenken. Man kann das als entscheidenden Schritt hin zur eigentlichen „Immersionsfliegerei“ verstehen.

1.2 Anwendungen

Bei der Entwicklung der FPV-Systeme stand die Montage der Kamera in einem

(Flächen-)Flugmodell im Vordergrund. Dennoch sind viele weitere Anwendungen denkbar. Neben der Nutzung in RC-Fahr- oder Flugzeugen eignen sich auch Fesselballons, Drachen, Raketen, Boote oder Modelleisenbahnen. Vielleicht steht in einem Fall lediglich die Aufzeichnung der Daten im Vordergrund, in einem anderen ein Kontrollbild für Luftbilder mittels Digitalkamera. Der Fantasie sind keine Grenzen gesetzt. Die Reichweite der Übertragung von mehr als 500 m lässt sich mithilfe weiterer technischer Möglichkeiten nahezu störungsfrei überbrücken, wie Sie in diesem Buch noch erfahren werden.



Hier wurde ein FPV-System in einen RC-Truggy eingebaut.

1.3 Anforderungen

Es ist für einen Modellbauer von Vorteil, wenn er sich gern näher mit technischen Details beschäftigt. Er muss kein Elektroniker sein, es ist aber dennoch hilfreich, erste Lötübungen bereits vor der Montage der eigentlichen FPV-Komponenten absolviert zu haben. Zudem ist ein Grundverständnis der Zusammenhänge erforderlich, was insbesondere auch für die Belange der Flugphysik gilt. FPV als Einstieg in den RC-Flugmodellbau ist demnach grundsätzlich nicht zu empfehlen, aber auch nicht unmöglich.

Tipp

Weitere Informationen sind u. a. im Internet auf der Seite www.fpv-community.de zu finden. Fragen, Hinweise und Erkenntnisse – all das wird hier gern aufgenommen, um auch Einsteigern das Thema zu ermöglichen.

1.4 Die Technik

Für die Übertragung kommt in Deutschland der ISM(Industrial, Scientific and Medical Band)-Frequenzbereich (2,4 GHz und 5,8 GHz) anmelde- und gebührenfrei zum Einsatz. Bei einer vorgeschriebenen Sendeleistung von 10 mW bzw. 25 mW stehen hier vier bzw. sieben unterschiedliche Kanäle für die Bild- und Tonübertragung zur Verfügung. Die Frequenz von 2,4 GHz deckt sich jedoch auch mit Geräten aus dem WLAN- und Bluetooth-Bereich. Zudem verwenden neuere RC-Anlagen dieses Band, hier jedoch teilweise

mit der zehnfachen Sendeleistung. Der gleichzeitige Betrieb führt oft zu Bildstörungen und sollte demnach vermieden werden. Mittlerweile ist auch eine große Auswahl an den neueren 5,8-GHz-Systemen auf dem Markt. Sie sind den 2,4-GHz-Systemen wegen der genannten Probleme vorzuziehen – auch wenn es hier wieder andere Schwächen gibt, auf die später noch eingegangen wird.



5,8-GHz-Sender mit 25 mW der Firma Immersions RC. (Bild: Globe-Flight)

Alle Komponenten der Funkübertragung unterscheiden sich deutlich von den handelsüblichen Sendern im Heimbereich, wie sie z. B. in Baumärkten, etc. angeboten werden. Reichweite und Bildqualität wurden optimiert, spezielle Richtantennen auf Empfängerseite tragen zusätzlich zur Störsicherheit bei. Diese Optimierung führt zudem dazu, dass bereits mit einer relativ geringen Sendeleistung extrem hohe Reichweiten möglich werden. Alle hier vorgestellten Systeme werden innerhalb der vorgeschriebenen 10 mW/25 mW bei 5,8 GHz betrieben.

Als Kameras kommen C-MOS- oder CCD-Typen mit einer Auflösung von 640 x 480 Pixel oder höher zum Einsatz. CCD-Kameras sind ihren C-MOS Brüdern jedoch qualitativ deutlich überlegen. In der genannten Auflösung von 640 x 480 Pixel kommt das Bild annähernd an die z. B. vom VHS-System gewohnte Qualität heran.

Die Kameras sind mit speziellen Optiken ausgestattet, um den Sichtbereich des Kamerabildes zu erweitern. Günstige Kameras aus dem Elektronikbedarf bieten einen deutlich zu kleinen Bildausschnitt.

Um die Schwenk- und Neigefunktion der Kamera zu realisieren, wird diese auf eine extra Vorrichtung für *Pan and Tilt* (Schwenken und Neigen) montiert. Mittels im Modell eingebauter Servos kann die auf das Gestell montierte Kamera in alle Richtungen bewegt werden.

Für das Fliegen nach Bild wird am Empfänger am Boden eine Videobrille angeschlossen. Bereits nach wenigen Augenblicken hat man



In einer höheren Preisklasse bekommt man auch sehr kleine Sender mit geringem Gewicht. Dazu gehört der 5,8-GHz-„Stinger PRO“. (Bild: Globe-Flight)



Als Gegenstück wird ein entsprechender Empfänger benötigt. Er empfängt das Videosignal und bereitet es für ein Wiedergabegerät wie Monitor oder Brille auf. (Bild: Globe-Flight)



Gute FPV Kameras können über eine kleine „Tastatur“ sehr gut an die Lichtverhältnisse angepasst werden. Die Einstellmöglichkeiten werden am Bildschirm dargestellt. (Bild: Globe-Flight)



Kamera auf eine Schwenk-Neige-Vorrichtung montiert; dadurch kann sich der Pilot frei in der Umgebung umsehen. (Bild: Globe-Flight)

fast vergessen, dass man in dieser Brille lediglich ein Bild vor Augen hat und nicht selbst im Cockpit sitzt. Das „FPV-Gefühl“ stellt sich beim Flug schnell ein. So geschieht es immer wieder, dass sich der Pilot mit in die Kurven legt.

Deutlich verstärkt wird dieser Effekt noch durch die Schwenk- und Neigefunktion der Kamera im Modell über die Kopfbewegung des Piloten. Hierzu ist an der Brille ein spezieller Sensor (Headtracker) angebracht, der die Bewegung erfasst und über den RC-Sender an das Modell weitergibt. Der dort eingebaute RC-Empfänger steuert nun die oben beschriebenen Servos des Pan-and-Tilt-Gestells an. Die Einspeisung des Headtrackers in den RC-Sender geschieht über eine dort vorhandene Lehrer-Schüler-Buchse.



Videobrillen werden auch im Set angeboten. Sie enthalten meist Sender, Empfänger und eine Einsteigerkamera. Damit ist der schnelle Start ohne große Lötarbeiten gewährleistet. (Bild: Globe-Flight)

1.5 Was benötigt man für den Einstieg?

Bei FPV sollte man sich langsam an die Materie herantasten. Selbst eingefleischte RC-Piloten müssen sich zunächst an die neue Sichtweise gewöhnen, die Orientierung in der Luft will gelernt sein. Hat man sich aber erst mal eingearbeitet, ist das Fliegen aus Modellsicht deutlich einfacher als vom Boden aus. Bewegungen des Flugzeugs werden schneller erkannt und können bereits im Ansatz ausgeglichen werden.

Die Bauteile werden in nahezu betriebsfähigem Zustand angeboten und müssen nur noch miteinander verbunden werden. Allerdings müssen alle Komponenten verstanden, im Modell verbaut, in Betrieb genommen und getestet werden. Komplexität und Schwierigkeit steigen mit jeder Zusatzfunktion etwas an und erfordern unter Umständen völlig neue Ansätze. Beispielsweise müssen Montage und Ansteuerung einer Kamera unter Verwendung

der Schwenk- und Neigefunktion komplett anders gelöst sein. Wie so oft gibt es auch hier mitunter mehrere Lösungswege, die zum gleichen Ziel führen können. Da jedes Modell etwas anders aufgebaut ist, kann es keine allgemein gültige Bauanleitung geben. In diesem Buch werden Sie jedoch interessante Anregungen finden, die Ihnen weiterhelfen.

Interessant könnte es sein, die komplette Technik zunächst am RC-Car zu testen. Grundlegende Erkenntnisse können hier deutlich einfacher als am Flugmodell gewonnen werden.

Wer Wert auf hochwertige Bilder legt, sollte nicht an der Kamera sparen. Aber selbst engagierte FPVler müssen nicht gleich mit Headtracker und Schwenk- und Neigefunktion beginnen. Erste Testläufe lassen sich auch über einen kleinen TFT-Monitor bewerkstelligen, wie sie z. B. schon in kostengünstigen tragbaren DVD-Playern zu finden sind. Wird dieser über den AV-Eingang am Empfänger angeschlossen, sind zudem weitere Zuschauer möglich. Eine

Thomas Riegler

Quadrocopter

richtig einstellen und fliegen

Schritt für Schritt zum Flugerfolg

FRANZIS

Inhalt

1	Was ist ein Quadrocopter?	9
2	Quadrocopter im Detail	11
2.1	Kraftpaket	11
2.2	Bürstenloser Motor	12
3	Quadrocopter zusammenbauen	13
3.1	Propellerblätter montieren	15
3.2	Montage der Rotorblätter	17
3.3	Empfänger flugfertig machen	18
3.4	Antenneninstallation	19
3.5	2,4-GHz-Steuerung	21
3.6	Akku einbauen	21
3.7	Akku richtig anschließen	22
3.8	Sicherheitseinrichtung eingebaut	24
4	Der Lithium-Polymer-Akku	25
4.1	Lithium-Akkus nicht zu stark entladen	26
4.2	LiPo-Akkus richtig pflegen	27
5	Die Fernsteuerung	29
5.1	Die Steuerknüppel	29
5.2	Welcher Mode ist empfehlenswert?	30
5.3	Pitch	30
5.4	Gier	30
5.5	Nick	32
5.6	Roll	33
5.7	Sender und Modell in Betrieb nehmen	34
5.8	Wie weit funktioniert eine Fernsteuerung?	35
6	RC-Frequenzbereiche	37
6.1	Den Quarz tauschen	38
6.2	Welche Frequenzen sind zulässig?	38
6.3	2,4-GHz-Frequenzen	40

7	Sender anlernen	41
7.1	Pitch programmieren	43
7.2	Gier programmieren	44
7.3	Nick programmieren	45
7.4	Roll programmieren	45
7.5	Programmierung beenden	46
7.6	Abgleich der Neutrallage	47
7.7	In Betrieb nehmen	47
8	Einstellen des Flugmodus	49
8.1	Negatives Expo einstellen	50
8.2	Anders als gewohnt	50
8.3	User-Modus	51
8.4	Beginner-Modus	52
9	Quadrocopter trimmen	53
9.1	Ausgangsbasis: Neutralstellung	54
9.2	Erste Inbetriebnahme	55
9.3	An die Idealeinstellung herantasten	55
10	Quadrocopter programmieren	57
10.1	Verbindung mit Computer herstellen	58
10.2	Quadrocopter-Konfigurationstool installieren	58
10.3	Konfiguration	62
10.4	Firmware-Update	67
10.5	KopterConfig Experimental	70
10.6	Erste Schritte	71
11	Quadrocopter tunen – Stabilisierungsplatte einbauen	79
11.1	Stabilisierungsplatte montieren	80
12	Quadrocopter mit Landegestell ausstatten	83
12.1	Landegestell montieren	84
13	Quadrocopter-Beleuchtungsset	89
13.1	Installation	89
13.2	Plug-and-play?	89

14	Experimentalrahmen	93
14.1	Schritt 1: Fast alles zerlegen	94
14.2	Schritt 2: Experimentalrahmen vorbereiten	97
14.3	Schritt 3: Zusammenbauen	98
14.4	Stabilisierungsplatte und Co.	101
15	Quadrocopter fliegen lernen	103
15.1	Lektion 1: Heli und Fernsteuerung kennenlernen	103
15.2	Lektion 2: Erste Schwebversuche	105
15.3	Lektion 3: Kontrolliert landen	106
15.4	Lektion 4: An Höhe gewinnen	108
15.5	Lektion 5: Rollen im Schwebflug	109
15.6	Lektion 6: Nick-Bewegung im Schwebflug	110
15.7	Lektion 7: Nick und Roll kombinieren	111
15.8	Lektion 8: Seitwärts schweben	112
15.9	Lektion 9: Eine „8“ fliegen	113
15.11	Lektion 10: 8er-Flug in Vorwärtsrichtung	114
15.12	Lektion 11: Kurven und Kreise fliegen	115
15.13	Lektion 12: Quadrocopter von vorn kennenlernen	117
15.14	Lektion 13: Um den Piloten im Kreis fliegen	117
15.15	Lektion 14: Schwebflug im Gehen	119
16	Kameraflug	121
16.1	Welche Kamera?	121
16.2	Minikameras schaffen Sicherheit	122
16.3	Minikameras im Detail	122
16.4	Minikamera montieren	123
16.5	Welche Bildqualität ist zu erwarten?	124
16.6	Was darf man filmen?	124
17	Quadro- und Helikopter: ein Vergleich	127
17.1	Reparaturen	127



1 Was ist ein Quadrokofter?

Unter einem Hubschrauber kann sich jeder von uns etwas vorstellen. Unter einem „Quadrokofter“ weniger. Er ist eine Sonderform des Hubschraubers und nicht nur mit einem, sondern gleich mit vier Rotoren bestückt.

Im Zentrum des Quadrokofters befindet sich der Hauptkörper. In ihm sind die Steuerelektronik, der Fernsteuerungsempfänger und der Akku eingebaut. An seinem Rahmen sind die vier Ausleger angebracht, an deren äußerem Ende die Motoren eingebaut sind. Vor allem mit ihren Landestützen erinnern sie an die Beine einer Spinne.

Der Quadrokofter ist keine Errungenschaft der jüngsten Vergangenheit, sondern ist sozusagen ein Überbleibsel aus der Frühzeit der Hubschrauberentwicklung. Seine Geschichte reicht bis in die frühen 20er-Jahre zurück. Bereits am 11. November 1922 erhob sich das erste Fluggerät dieser Art in die Luft.

Mehrere Rotoren waren damals erforderlich, um den „Hubschrauber“ überhaupt steuern

zu können. Unter anderem die Taumelscheibe und der Heckrotor sind für den Hubschrauber entscheidende Erfindungen, die erst später gemacht wurden. Durch sie ergab sich keine Notwendigkeit mehr, mehr als einen Rotor zu verwenden.

Nur wenige Quadrokofter schafften es im Lauf der Jahrzehnte bis über das Entwicklungsstadium hinaus. Zu den Fluggeräten dieser Art zählte der Curtiss-Wright VZ-7AP aus dem Jahr 1958. Er war auch als „Flug-Jeep“ bekannt.

Gegenwärtig werden keine Quadrokofter mehr produziert, die auch Personen transportieren könnten. Sie finden aber bei der militärischen Aufklärung in Form kompakter unbemannter Drohnen Verwendung. Außerdem hat sie der RC-Modellbau entdeckt. Immerhin lassen Quadrokofter Einsatzgebiete zu, die mit anderen Fluggeräten nicht so leicht realisierbar wären. Quadrokofter eignen sich besonders gut zum Anfertigen von Luftbildern oder Videos aus schwindelnder Höhe.



Bild 1.1 – Quadrocopterfliegen macht richtig Spaß!

2 Quadrokooper im Detail

Die wohl einzige Gemeinsamkeit von Quadrokoopern und herkömmlichen Hubschraubern liegt wohl darin, dass die Propeller waagrecht montiert sind. Während Hubschrauber eine aufwendige Mechanik mit Getrieben, Gestängen, Hebeln, Wellen und Riemen erfordern, kommt der Quadrokooper ohne all das aus. Das Einzige, was er braucht, sind vier kraftvolle Brushless-Motoren, an denen je ein Propeller montiert ist.

Um einen Hubschrauber in der Luft steuern zu können, werden unter anderem der Anstellwinkel der Rotorblätter geändert und der Rotorkopf als Gesamtes den auszuführenden Bewegungen entsprechend ausgelenkt.

Die Steuerung des Quadrokoopers erfolgt ausschließlich über die Ansteuerung der vier Motoren, an denen die Propeller fest angeschraubt sind. Die in der definierten Längsachse (die die Hauptflugrichtung vorgibt) drehen sich im, die beiden seitlichen gegen den Uhrzeigersinn.

Das Geheimnis dieses Fluggeräts liegt in der ausgeklügelten Regelelektronik, die mit Lage- und Beschleunigungssensoren arbeitet. Sie werden durch leistungsfähige Mikroprozessoren gesteuert und sorgen dafür, dass der Quadrokooper nicht nur fliegen, sondern auch absolut ruhig und stabil in der Luft stehen kann.

Die weiteren Steuermöglichkeiten werden durch eine serielle Schnittstelle verstärkt. Über sie können Updates und Erweiterungen vorgenommen werden. Über eine Konfigurations-Software lässt der Quadrokooper sich sogar

programmieren. Damit wird den Individualisten unter den Quadrokooperpiloten ein breites Betätigungsfeld eröffnet. Per Mausklick kann das Fluggerät an die Wünsche und Bedürfnisse des Piloten angepasst werden.

Der Quadrokooper *450 ARF* kann in drei Modi betrieben werden. Sie sind über eine Steckbrücke und Jumper einzustellen. Über sie können je eine Betriebsart für Anfänger und eine für Fortgeschrittene ausgewählt werden. Die dritte Stellung ist für eigene Steuerprogrammierungen vorgesehen.

2.1 Kraftpaket

Bereits der kleine Quadrokooper *450 ARF* mit seinem Durchmesser von bescheidenen 45 cm (ohne Rotorblätter) ist ein wahres Kraftpaket. Er erlaubt die Zuladung von bis zu 500 g. Damit ist er der ideale Lastenträger, und hier gibt es genügend Einsatzmöglichkeiten: z. B. Kameras transportieren und mit ihnen Flugaufnahmen machen. Der kleine Quadrokooper ist sogar in der Lage, neuere Videokameras zu transportieren, die nur wenig wiegen. Sogar noch eine Zuladereserve für eine Kamera-Montagevorrichtung bleibt, die dreh- und schwenkbar ausgeführt sein kann. Das hohe Transportvermögen kann auch dazu genutzt werden, z. B. Werbebanner durch die Lüfte schweben zu lassen.

2.2 Bürstenloser Motor

Der bürstenlose Motor ist allgemein als Brushless- oder BL-Motor bekannt. Da er ohne Kohlebürsten arbeitet, tritt bei ihm kein Verschleiß auf. Er hat einen hohen Wirkungsgrad, ist leicht und hat, je nach Bauart, auch ein großes Drehmoment. Den Brushless-Motor erkennt man an seinen drei Anschlussdrähten (Bürstenmotoren haben nur zwei). Bei BL-Motoren unterscheidet man zwischen Innen- und Außenläufern.

Der BL-Außenläufer hat eine feststehende Welle, um die sich sein Gehäuse dreht. Seine Hülle dreht sich somit um einen Kern. BL-Außenläufer haben ein deutlich höheres Drehmoment. Damit können sie auch langsamer laufen und benötigen kein aufwendiges Getriebe. Bei ihrem Einbau ist besonders zu beachten, dass ihr sich drehendes Gehäuse weder Teile des Modells noch Drähte berühren darf.



Bild 2.1 – Beim BL-Außenläufer dreht sich das Gehäuse. So wird ein hohes Drehmoment erreicht, das auch große Propeller antreibt.

3 Quadrokooper zusammenbauen

Der Quadrokooper 450 ARF wird, wie schon seine Typenbezeichnung verrät, als ARF-Modell angeboten. „ARF“ steht für „Already to Fly“ und bedeutet, dass das Modell noch nicht ganz flugfertig ausgeliefert wird und man an ihm noch etwas Hand anlegen muss.

Der Quadrokooper 450 befindet sich in einer erstaunlich kleinen Schachtel. Erstaunlich

insofern, als er von Rotorblattspitze zu Rotorblattspitze eine Größe von 70 cm haben wird. Packt man das Fluggerät aus, hält man zunächst ein Bündel Technik in der Hand, das im Wesentlichen aus zwei Teilen besteht: dem Flugkörper und vier gleich langen Auslegern. Sie sind im rechten Winkel zueinander angeordnet und über Gelenke am Flugkörper befestigt. An ihnen sind wiederum schwenk-



Bild 3.1 – Der Quadrokooper kommt fast fertig zusammengebaut. An ihm sind im Wesentlichen nur noch die Propeller zu montieren.



Bild 3.2 – Der Quadrocopter ist zusammengelegt und beansprucht für den Transport nur wenig Platz.

bare Standfüße angebaut. Durch einfaches Aufklappen und Fixieren in den eingebauten Arretierungen lassen sich die vier Ausleger in Sekundenschnelle aufklappen und in Betriebslage bringen. Die Ausleger sind aus stabilem Vierkant-Profilmetall gefertigt. In ihnen ist auch die Verkabelung zu den Motoren untergebracht. Sie sind an den Armenden mit einer Kunststoffhalterung befestigt. An den Halterungen sind auch die LandefüÙe aufgesteckt. Sie können ohne zusätzliches Werkzeug aus- und eingeklappt werden. So lässt sich der Quadrocopter äußerst platzsparend zusammenlegen und transportieren.

Arme und LandefüÙe brauchen nur per Hand in ihre Fluglage ausgerichtet zu werden, bis sie einrasten. Werkzeug ist dafür nicht erforderlich. Der Zeitaufwand für alle vier Arme bewegt sich etwa bei einer Minute.

Die Stabilität des Quadrocopters lässt sich durch den Einbau einer als Zubehör erhältlichen Stabilisierungsplatte noch erheblich verbessern. Sie wird vom Hersteller auch ausdrücklich empfohlen, da dadurch mögliche Schäden bei unsanften Landungen deutlich reduziert werden können. An der Handhabung des Fluggeräts ändert sich bei eingebauter Stabilisierungsplatte nichts.



Bild 3.3 – Die vier Tragarme sind auszuklappen, ...

3.1 Propellerblätter montieren

Bei genauerer Betrachtung fällt auf einem der Ausleger ein Pfeil auf. Er markiert die Flugrichtung. Zusätzlich ist unter diesem Ausleger eine große rote Platte montiert. Sie dient zur leichteren Erkennbarkeit der Ausrichtung des Modells während des Flugs. Da es einen symmetrischen Aufbau hat, wäre seine Lage während des Flugs sonst vom Boden aus so gut wie nicht zu erkennen, was das Lenken des Quadropters unmöglich machen würde.

Diese Markierung hilft uns aber auch bereits bei der Montage der Propellerblätter. Sie unterscheiden sich in einem kleinen, aber für den erfolgreichen Flugbetrieb entscheidenden Detail: Jeweils zwei sind links- und rechtsdrehend. Daraus folgt, dass sich je zwei Motoren im und gegen den Uhrzeigersinn drehen.

Die Bestimmung der Propellerblätter kann auf zwei Arten erfolgen. Sie können mit „Left“ (links) oder „Right“ (rechts) beschriftet sein (der Schriftzug ist eingegossen).



Bild 3.4 – ... bis sie in den Arretierungen des Zentralrahmens einschnappen.

Fehlt die Beschriftung, lassen sich die Propeller anhand ihrer Konstruktion zuordnen. Dazu muss man einen Propeller zunächst etwas genauer betrachten. Die Bohrung für die Rotorwelle ist an der Unterseite in Sechskantform ausgeführt. Das Gegenstück findet man an der Motorachse in Form einer nachempfundenen 5-mm-Mutter. Auf sie ist der Pro-



Bild 3.5 – Zuletzt sind die LandefüÙe auszuklappen, bis sie einrasten.



Bild 3.6 – Als Nächstes sind die vier Rotorblätter aufzuschrauben.



Bild 3.7 – Da sich je zwei Motoren im und gegen den Uhrzeigersinn drehen, werden auch zwei Arten von Rotorblättern benötigt.

PELLER zu stecken und wird von der Motorwelle sicher gedreht.

Legt man z. B. einen rechten Propeller mit der Sechskantausnehmung nach unten auf den Tisch, erkennt man von rechts oben bis links unten eine gleichmäßig verlaufende Linie. An der linken oberen und rechten unteren Rotorhälfte verjüngt sich die Blattbreite zur Mitte hin beträchtlich, womit diese Seiten weitaus „verbogener“ aussehen. Die linksdrehenden Propeller sind exakt spiegelbildlich aufgebaut. Der Pfeil auf einem der Ausleger kennzeichnet die Längsachse des Quadropters. Beide an der Längsachse montierten Motoren sind rechtslaufend, drehen sich also im Uhrzeigersinn. Auf sie sind die rechtsdrehenden Propeller zu montieren.

Die beiden seitlichen Motoren der Querachse drehen sich entgegen dem Uhrzeigersinn, also nach links. Auf sie sind die linksdrehenden Propeller aufzusetzen.

Werden die Rotorblätter nicht entsprechend der Drehrichtung der einzelnen Motoren montiert, passen die im Modell programmierten Drehrichtungen nicht mehr zu denen der Rotoren. Der Quadropters wäre somit nicht mehr flugfähig und steuerbar.



Bild 3.8 – Die Rotorblätter sind mit „Left“ für links und „Right“ für rechts beschriftet.

3.2 Montage der Rotorblätter

Nachdem die Rotoren auf die Wellen aufgesetzt wurden, muss man je eine der im Lieferumfang enthaltenen Federscheiben auf sie legen. Diese geben den erst jetzt aufzudrehenden Rotorspitzen sicheren Halt, sodass sie sich während des Flugs nicht lösen können. Die Rotorspitzen sind an zwei Seiten etwas abgeflacht. Das lädt förmlich dazu ein, sie mit einem 10-mm-Gabelschlüssel fest anzuschrauben. Zu fest dürfen die Propeller jedoch nicht angezogen werden, da dies zu einer Beschädigung der Motoren führen kann. Die Motorwellen könnten dabei reißen oder aus den Lagern gezogen werden. Außerdem können die Motoren schwergängiger laufen. Das wiederum würde sich negativ auf die Flugeigenschaften auswirken. Idealerweise sind die Rotorspitzen per Hand aufzudrehen. Das reicht wegen der Federscheibe normalerweise

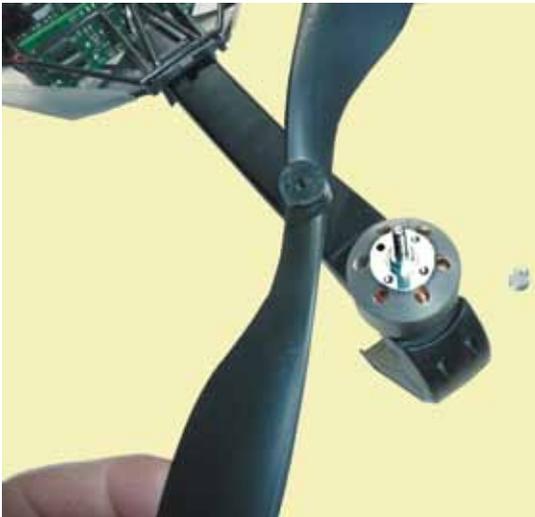


Bild 3.9 – Die Motoren der beiden seitlichen Ausleger drehen sich gegen den Uhrzeigersinn. Auf sie sind mit „Left“ beschriftete Rotorblätter zu montieren.

aus. Nur wenn sich die Motoren leicht mit der Hand drehen lassen, sind sie in Ordnung. Nach dem Anschrauben der Rotoren lässt sich das leicht ausprobieren. Auch der Sprengring auf der Unterseite der Motoren muss sich bewegen lassen und darf nicht klemmen. Vor jedem Flug ist zu kontrollieren, ob die Rotoren fest auf die Motoren geschraubt sind. Bei Einsatz von Werkzeugen ist äußerste Vorsicht geboten.



Bild 3.10 – Nachdem das Rotorblatt auf die Motorwelle gesteckt wurde, ist eine Unterlegscheibe draufzulegen. Zuletzt wird der Rotor mit einer Rotorspitze fixiert.



Bild 3.11 – Die Rotorspitze ist handfest anzuschrauben.



Bild 3.12 – Quadrokopter mit montierten Rotorblättern.

3.3 Empfänger flugfertig machen

Der zentrale Flugkörper besteht aus einem achteckigen, mehrfach mit Streben verstärkten Rahmen. In seinem Zentrum sind, auf mehrere Platinen aufgeteilt, die ausgeklügelte Steuerungselektronik und der Fernsteuerungsempfänger eingebaut. Anders als von anderen RC-Modellbaufahrzeugen gewohnt, kommt hier kein separater Sender zum Einsatz. Im Quadrokopter ist er als kleine Platine auf der mittleren Hauptplatine des Fluggeräts angebaut.

Der Quadrokopter 450 von Conrad ist mit einem 35-MHz-Empfänger ausgestattet. Für seinen Betrieb ist zusätzlich ein Fernsteuersender erforderlich. Er muss auf das 35-MHz-FM-A-Band ausgelegt sein und die Modulationsart PPM beherrschen. Außerdem ist ein 35-MHz-Quarzpaar erforderlich. Es legt die Frequenz fest, auf der der Fernsteuersender und der im Modell eingebaute Empfänger miteinander kommunizieren.

Der R/RX-Quarz ist im Quadrokopter einzubauen, was auf den ersten Blick umständlich erscheint. Der Steckplatz für den Funkkanalquarz ist am unteren Ende der mittleren Elektronikplatine zu finden. Wegen der zahlreichen Verstrebungen des Modellmittelteils erscheint es zunächst unmöglich, den Quarz überhaupt einsetzen zu können, zumal der Platz nicht annähernd reicht, um ihn mit den Fingern in Position zu bringen.

Leichter geht es über die Unterseite des Quadrokopters. Dazu ist allerdings zunächst die Unterseite des Gehäuses zu entfernen. Es ist mit vier Schrauben am Gehäuserahmen angeschraubt. Zahlreiche Verstrebungen, die der Stabilität des Fluggeräts dienen, versperren auch hier den direkten Zugang. Da der Empfängerquarz jedoch am unteren Ende der Platine einzubauen ist, lässt er sich gut mit einzelnen Fingern erreichen. Während er mit einer Zange von oben in die ungefähre Position gebracht wird, lässt er sich mit der zweiten Hand von unten in die genaue Einbaulage bringen und fest in die Quarzbuchse hineinschieben. So ist sicherer Halt gewährleistet. Zuletzt ist die untere Gehäusehalbschale wieder anzuschrauben.



Bild 3.13 – Der Empfangsquarz ist am besten mit einer Zange einzubauen.



Bild 3.14 – Mit etwas Übung gelingt dies trotz der beengten Platzverhältnisse.



Bild 3.15 – Sende- und Empfangsquarz müssen zusammenpassen.

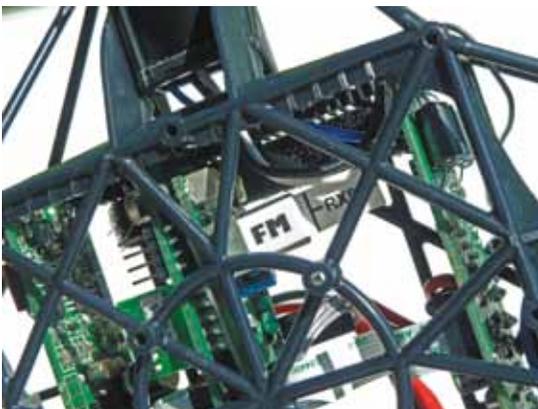


Bild 3.16 – Mit einer an einem Fähnchen aufgedruckten Kanalnummer wird die Arbeitsfrequenz des Quarzes kenntlich gemacht.

3.4 Antenneninstallation

Am 35-MHz-Empfänger ist eine Drahtantenne angeschlossen, die während des Flugbetriebs nicht zusammengerollt bleiben darf, da dies die Fernsteuerungreichweite erheblich verkürzen würde. Den Draht einfach nur so herunterhängen zu lassen ist jedoch zu wenig. Es würde die Gefahr bestehen, dass er sich an drehenden Teilen verfängt und der Quadrocopter würde unweigerlich abstürzen. Um dies zu vermeiden, liegt dem Quadrocopter ein Antennenrohr bei. Bevor der komplett ausgerollte Antennendraht auf ihm aufgewickelt wird, ist er durch eine seitliche Öffnung am Gehäuse zu stecken. Auch das Antennenrohr ist am Gehäuse zu fixieren. Das Antennenkabel wird in Form einer Wendel auf das Antennenrohr aufgewickelt. Das noch verbleibende kurze Kabelende ist von oben in das Rohr zu stecken. Die Antenne kann mit einem Klebeband fixiert werden.

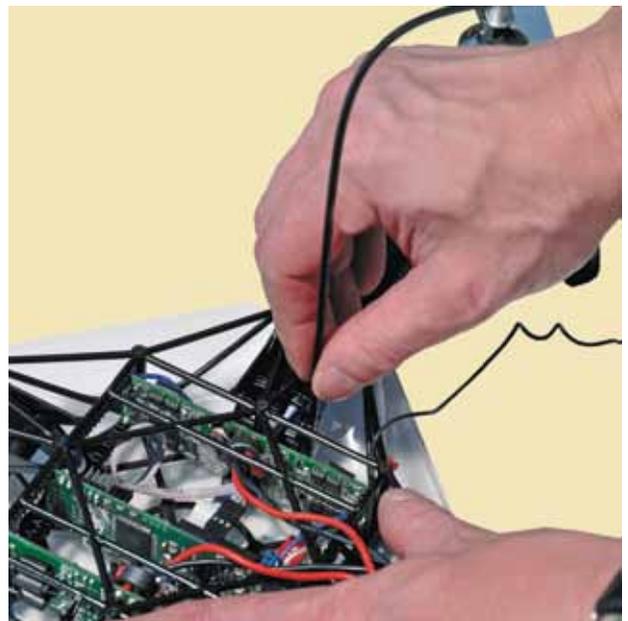


Bild 3.17 – Das Antennenrohr ist am Gehäuse anzustecken.