

Patrick Leiner

DROHNEN
SELBER BAUEN & TUNEN

Ohne
Vorkenntnisse

- Drohne
- Quadrocopter
- Multicopter

Schritt für Schritt
selbst gebaut

576 Seiten
Komplett
in Farbe

Zusatzmaterial
zum Download

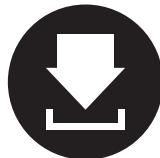


Drohnen erweitern: Telemetrie, Flugzeiten optimieren,
Kamera für Luftaufnahmen und FPV

FRANZIS

Patrick Leiner

DROHNEN SELBER BAUEN & TUNEN



Zusatzinformationen zum Produkt

Zu diesem Produkt, wie zu vielen anderen Produkten des Franzis Verlags, finden Sie unter www.buch.cd Zusatzmaterial zum Download.

Tragen Sie für dieses Produkt im Eingabefeld den Code **60444-4** ein.



Patrick Leiner, geboren in Zweibrücken, ist gelernter Technischer Produktdesigner in der Fachrichtung Maschinen- und Anlagentechnik. Nach seiner Ausbildung absolvierte er ein Bachelorstudium der Wirtschaftswissenschaften im Fachbereich Technische Betriebswirtschaft.

Seit 15 Jahren ist er begeisterter Modellpilot und beschäftigt sich umfassend mit der RC-Modellbautechnik. Der faszinierende Bereich der Multicopterdrohnen motivierte ihn, sich von Beginn an mit der Materie zu beschäftigen und eigene Projekte zu entwickeln. Während des Studiums verfasste er seine Bachelorthesis sowie weitere wissenschaftliche Arbeiten über die Entwicklung und den Bau von Multicoptern und konnte währenddessen schon einige Multicopterprojekte umsetzen.

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. beigelegte oder zum Download angebotene Dateien und Informationen dienen ausschließlich der nicht gewerblichen Nutzung. Eine gewerbliche Nutzung ist nur mit Zustimmung des Lizenzinhabers möglich.

© 2016 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 widrigfalls 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.

Autor: Patrick Leiner

Lektorat: Ulrich Dorn und Dr. Markus Stäuble

Programmleitung: Dr. Markus Stäuble

Cover: Mathias Vietmeier

Cover-Model: Matthias Pritschet

Satz & Layout: Nelli Ferderer, nelli@ferderer.de

art & design: www.ideehoch2.de

ISBN 978-3-645-20444-6

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 Multicoptertechnik 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 Multicoptertechnik 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 Multicoptertechnik 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 Multicoptertechnik 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 Modellbaubegierigte, 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.

■ WIE IST DAS BUCH AUFGEBAUT?

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 Luftschaube 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 erklärt 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, Akkuerweiterung 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 Lötkolben 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 Dronentyp überall zum Einsatz kommt und welche verschiedenen Bauarten es gibt. Zudem werden die verschiedenen Drehrichtungen der Luftschauben 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 Dronen-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 eingebauter Actioncam am Copter montiert ist.

Kapitel 11: FAQ und Fehlerquellen

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



1

Vorwort 5**Drohne, Flugzeug oder was?** 20

Luft-, Land- und Wasserfahrzeuge

Multicopter, Quadrocopter, Hexacopter und Co. 25

Multicopter und was sie ausmacht 26

Im Einsatz von Militär bis kommerziell

Funktionsweise einer Multicopterdrohne

Typische Bauform und Varianten

Fluggeräte und Anzahl der Rotoren

Ausrichtung der Fluglage

Was rotiert hier verkehrt herum?

Drehrichtungen der Luftschauben



2

Bauteile und ihre Eigenschaften 42

Rahmen eines Multicopters

Centerplate, Ausleger und Landegestell

Materialanforderungen an den Rahmen

Rahmenbausatz oder selber bauen?

Bauprojekt mit 3-D-Drucker realisieren

Systembausatz und Einzelteile

Rahmengröße und Einsatzzweck

Motoren im Multicopterbau

Wirkprinzip des Gleichstrom-Bürstenmotors

Aufbau des bürstenlosen Motors

Brushlessmotoren: Innen- und Außenläufer

Kennzahlen von Brushlessmotoren

Pole und Nuten bei einem 12N14P-Motor

Auswirkung auf die Motoreigenschaften

Stromaufnahme und Betriebsspannung

Regelmäßige Wartung von Brushlessmotoren

Motorsteuerung - der Brushlessregler (ESC)

Wie funktioniert ein Brushlessregler?

Spezieller Reglertyp für Multicopter

SimonK - Multicopter-ESC-Software



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-Assistant-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
Telemetrieverbindung via Bluetooth	176
Telemetrieverbindung via Funkmodul	177
Telemetrieverbindung 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	204
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 Verordnungsaufzählung	223
Überblick: Wo und wie darf man fliegen?	225
Rechtslage FPV und Telemetrie	225
Rechtslage – Fotos und Videos aus der Luft	227



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

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 Telemetrieverbindung	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

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



8

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 Luftschauben	334

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 Luftschauben	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



9

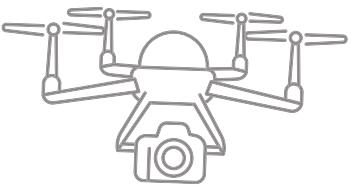
Berechnungen und Bauteilauswahl	383
Der Rahmen – einfach und mit ausreichend Platz	383
Der Flightcontroller – einfach zu handhaben (DJI-Naza)	384
Der Empfänger – passend zum Steuersystem	384
Der Motor – die wichtigste Entscheidung	385
Die ESCs – passend zum Motor	386
Die Luftschauben – passend zu Rahmen 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: Luftschauben 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 FailSafe-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: FailSafe-Funktion einstellen	512
Bauphase 14: Luftschauben 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
Index	564
Bildnachweis	575







1

DROHNE,
FLUGZEUG
ODER WAS?





»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 Kameracopter 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 aerial 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 Dronenteile 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.



2

MULTICOPTER UND WAS SIE AUSMACHT

Im Einsatz von Militär bis kommerziell	29
Funktionsweise einer Multicopterdrohne	31
Typische Bauform und Varianten	32
Ausrichtung der Fluglage	34
Was rotiert hier verkehrt herum?	35



Quelle: Bundeswehr/Pietruszewski/Sebastian Pietruszewski/Heer

Aufklärungsdrohne der Bundeswehr - AirRobot AR 100-B. Mit diesen Drohnen können taktische Manöver durchgeführt werden, die vorher nicht möglich waren. Beispielsweise können Gebäude von innen observiert und erkundet werden.



Um einen Multicopter selbst zu bauen, müssen wir wissen, wie solch ein Fluggerät aufgebaut ist, welche Bauteile welchen Zweck erfüllen und worauf bei der Auswahl geachtet werden muss. Es stellt sich also die Frage, was einen Multicopter ausmacht oder ihn von anderen Fluggeräten unterscheidet. Multicopter ist ein zusammengewürfeltes Wort aus Multi für mehrfach oder viele und Copter, dem englischen Wort für Hubschrauber. Genau das macht einen Multicopter aus. Er ist laut Definition ein Hubschrauber mit mehr als einem Rotor. Er kann ebenso wie ein Helikopter gesteuert werden und hat ein ähnliches Flugverhalten.

IM EINSATZ VON MILITÄR BIS KOMMERZIELL

■ Multicopter bieten viele Einsatzmöglichkeiten. Im Großen und Ganzen kann in die größten drei Einsatzgebiete unterteilt werden: den militärischen, den kommerziellen und zivilen Einsatz sowie die Anwendung in der Forschung. Da Drohnen allgemein aus dem militärischen Bereich stammen, ist es nicht verwunderlich, dass auch Multicopterdrohnen im großen Umfang zu militärischen Zwecken eingesetzt werden.

In der Forschung werden Multicopter schon lange eingesetzt. Sie dienen der Erforschung von neuen Techniken und der Entwicklung innovativer Software zur Steuerung von autonom agierenden Fluggeräten. Es wird auch das Zusammenwirken der Multicoptertechnik mit innovativen Forschungsprojekten, wie etwa die Positionsbestimmung in Räumen ohne GPS-Unterstützung, erforscht.

Einer der größten Bereiche, nach dem militärischen Einsatzzweck, sind die zivilen, kommerziell und privat genutzten Multicopter. Hierunter fallen alle Spielzeugdrohnen sowie unternehmerisch eingesetzte Multicopter.

Das Einsatzgebiet in diesem Bereich ist sehr umfangreich und entwickelt sich ständig weiter. So werden Multicopter benutzt, um Windräder oder Solaranlagen zu inspizieren, Felder im Auftrag von Bauern auf Rehkitze abzuscannen und Foto- und Filmmaterial aus luftiger Höhe zu erstellen. Auch kommen Multicopter immer mehr bei Sicherheitseinsätzen der Polizei oder bei Manövern der Feuerwehr zum Einsatz.

Spielzeugdrohne CX-10.





Kameradrohne Coptercam8 mit einer selbststabilisierenden Kamerahalterung (Gimbal).



Drohne zum SAR-Einsatz (Search and Rescue) -
Microdrones MD4-1000.

In der Industrie werden Multicopter unter anderem zur Inspektion von hohen Windrädern eingesetzt. Die langen und hoch angebrachten Rotorblätter können so aus der Luft auf Risse oder Beschädigungen überprüft werden. Auch großflächige Solarfelder können mit einem Multicopter aus der Luft schnell auf Beschädigungen überprüft werden, sodass die Leistung der Anlage auf einem hohen Level gehalten werden kann.

Eines der zurzeit am stärksten wachsenden Anwendungsbiete der Multicoptertechnik ist die Luftfotografie, vom Hobbybereich bis hin zur gewerblichen Erstellung von Filmmaterial in Kinqualität. In vielen Blockbustern oder Werbefilmen kommen heute Kameracopter zum Einsatz.