

Patrick Leiner

# DROHNEN

Ohne  
Vorkenntnisse

# SELBER BAUEN & TUNEN

- Drohne
- Quadrocopter
- Multicopter

**Schritt für Schritt  
selbst gebaut**

**576**  
Seiten  
komplett  
in Farbe

Zusatzmaterial  
zum Download

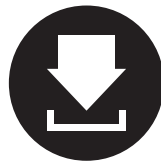


Drohnen erweitern: Telemetrie, Flugzeiten optimieren,  
Kamera für Luftaufnahmen und FPV

**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. beigefügte 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 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.

**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](mailto:nelli@ferderer.de)

**art & design:** [www.ideehoch2.de](http://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 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](http://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, 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 Drohnentyp 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**

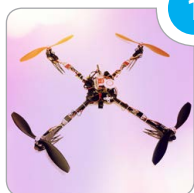
Zeit für Bauprojekt 2. Ziel ist es, einen Allround-Quadrocopter zu planen, zu bauen und zu fliegen. Der Quadrocopter soll so ausgelegt werden, dass er stabil und sicher, aber auch schnell und agil geflogen werden kann. Hierfür wird eine DJI-Naza-Steuerung eingesetzt. Am Ende von Bauphase 2 steht eine 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.



1



2

<b>Vorwort</b>	5
<b>Drohne, Flugzeug oder was?</b>	20
Luft-, Land- und Wasserfahrzeuge	23
Multicopter, Quadrocopter, Hexacopter und Co.	25
<b>Multicopter und was sie ausmacht</b>	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
<b>Bauteile und ihre Eigenschaften</b>	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-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
Telemetrieüberbindung via Bluetooth .....	176
Telemetrieüberbindung via Funkmodul .....	177
Telemetrieüberbindung 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



4



<b>Rechnerische Grundlagen</b>	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



<b>PID-Werte einstellen</b>	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



<b>Planung Selbstbaucopter</b>	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



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
<b>Allround-Quadrocopter .....</b>	<b>378</b>
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

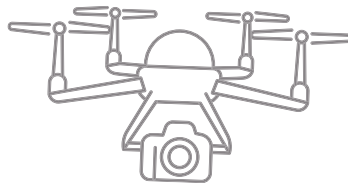


<b>Power-Octocopter</b> .....	464
Das Baukonzept ausarbeiten .....	466
Nebenziel und Funktionsumfang .....	467
Festlegen aller benötigten Bauteile .....	467
Rahmengröße des Octocopters .....	468
Einschätzung anfallender Kosten .....	468
Bauteilauswahl und Berechnungen .....	468
Der Rahmen: Lastenträger, 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





<b>FAQs und Fehlerquellen</b> .....	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
<b>Glossar</b> .....	550
<b>Index</b> .....	564
<b>Bildnachweis</b> .....	575









# 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 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 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

**Drohne 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 manntragenden 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.





A blurred night cityscape with a drone in the foreground. The drone is a multirotor, seen from the side, with its propellers and frame visible. The background is a bokeh of city lights and building silhouettes.

# 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 abzuscanen 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 Kinoqualität. In vielen Blockbustern oder Werbefilmen kommen heute Kameracopter zum Einsatz.