

## **Multicopter selber bauen**



Christian Rattat arbeitet seit etwa 20 Jahren als Softwareentwickler und begann seine Karriere 1987 auf einem Commodore Amiga 2000. Heute arbeitet er für Großunternehmen im Microsoft- und Unix-Umfeld, hat aber auch mikrocontrollerbasierte Anwendungen gebaut und dafür Software implementiert.

Seit fast zehn Jahren fotografiert er semiprofessionell und besitzt ein eigenes Fotostudio. Die Suche nach aufregenden Perspektiven führte ihn 2011 zum ersten Modellhubschrauber. Der Schritt zum eigenen Multicopter war dann nicht mehr weit und 2012 hat er seinen ersten Quadrocopter gebaut. Seitdem hat er sich tief in die Thematik eingearbeitet und Multicopter für verschiedene Anwendungen gebaut.

**Christian Rattat**

# **Multicopter selber bauen**

**Grundlagen – Technik – eigene Modelle**



**dpunkt.verlag**

Christian Rattat  
christian@rattat.net

Lektorat: Dr. Michael Barabas  
Copy-Editing: Ursula Zimpfer, Herrenberg  
Herstellung: Susanne Bröckelmann, Heidelberg  
Satz: Ulrich Borstelmann, Dortmund  
Umschlaggestaltung: Helmut Kraus, [www.exclam.de](http://www.exclam.de)  
Druck und Bindung: Stürtz GmbH, Würzburg

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

ISBN:  
Buch 978-3-86490-247-5  
PDF 978-3-86491-685-4  
ePub 978-3-86491-686-1

1. Auflage 2015  
Copyright © 2015 dpunkt.verlag GmbH  
Wieblinger Weg 17  
69123 Heidelberg

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung der Texte und Abbildungen, auch auszugsweise, ist ohne die schriftliche Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und daher strafbar. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung oder die Verwendung in elektronischen Systemen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die im Buch verwendeten Soft- und Hardware-Bezeichnungen sowie Markennamen und Produktbezeichnungen der jeweiligen Firmen im Allgemeinen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz unterliegen.

Alle Angaben und Programme in diesem Buch wurden mit größter Sorgfalt kontrolliert. Weder Autor noch Verlag können jedoch für Schäden haftbar gemacht werden, die in Zusammenhang mit der Verwendung dieses Buches stehen.

5 4 3 2 1 0

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort ..... xi

## **1 Einführung 1**

1.1	An wen richtet sich dieses Buch? .....	2
1.2	Was sind Multicopter? .....	3
1.3	Selbst bauen oder kaufen? .....	9
1.4	Wie werden Multicopter gesteuert? .....	11
1.5	Wo kommen Multicopter zum Einsatz? .....	14
1.6	Wie unterscheiden sich Multicopter? .....	16
1.7	Kameraanwendungen .....	19
	1.7.1 Immersionsflug .....	19
	1.7.2 Video und Fotografie .....	22
1.8	Telemetrie .....	26

## **2 Recht und Sicherheit 29**

2.1	Sicherheit .....	30
	2.1.1 Verletzungsgefahren .....	30
	2.1.2 Brandgefahren .....	32
	2.1.3 Störung des Flugverkehrs .....	33
	2.1.4 Andere Gefahren .....	33
	2.1.5 Gefahren vermeiden .....	34
2.2	Rechte und Pflichten .....	38
	2.2.1 Gesetzliche Regelung des Modellflugs. ...	38
	2.2.2 Voraussetzungen für den Modellflug ...	40
	2.2.3 Zulässige Fluggebiete .....	44
	2.2.4 Foto und Video .....	47
2.3	Sicherheitscheck für Multicopter-Flüge .....	51

<b>3</b>	<b>Werkzeuge und Werkstoffe</b>	<b>53</b>
3.1	Werkstoffe . . . . .	54
3.1.1	Kohlefaserverstärkte Kunststoffe (CFK) . . . . .	55
3.1.2	Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) . . . . .	57
3.1.3	Aluminium . . . . .	58
3.1.4	Holz . . . . .	59
3.1.5	Kunststoffe . . . . .	59
3.2	Werkzeuge und Maschinen . . . . .	60
3.2.1	Werkzeuge . . . . .	60
3.2.2	Messen . . . . .	61
3.2.3	Bohren . . . . .	62
3.2.4	Sägen . . . . .	63
3.2.5	Löten . . . . .	64
3.2.6	Fräsen . . . . .	65
3.2.7	3D-Druck . . . . .	68
3.2.8	Drehen . . . . .	68
3.2.9	Sonstige Materialien . . . . .	69
<b>4</b>	<b>Multicopter-Technik</b>	<b>71</b>
4.1	Rahmen . . . . .	73
4.2	Landegestell . . . . .	80
4.3	Propeller . . . . .	82
4.3.1	Bauformen, Eigenschaften, Kosten . . . . .	83
4.3.2	Befestigung von Propellern . . . . .	85
4.3.3	Wartung und Reparatur von Propellern . . . . .	88
4.3.4	Kennzeichnung von Propellern . . . . .	95
4.3.5	Propeller dimensionieren . . . . .	97
4.4	Motoren . . . . .	99
4.4.1	Verbrennungsmotoren . . . . .	99
4.4.2	Elektromotoren mit Bürsten . . . . .	99
4.4.3	Bürstenlose Elektromotoren . . . . .	101
4.4.4	Innen- und Außenläufer . . . . .	103
4.4.5	Kennzeichnung von bürstenlosen Motoren . . . . .	103
4.4.6	Motorleistung . . . . .	105
4.4.7	Wartung von Motoren . . . . .	106

4.5	Geschwindigkeitsregler . . . . .	108
4.5.1	Taktfrequenzen und Timing . . . . .	111
4.5.2	Anschluss eines Geschwindigkeitsreglers . . . . .	112
4.5.3	Konfiguration von Geschwindigkeitsreglern . . . . .	114
4.6	Spannungsversorgung . . . . .	116
4.6.1	Akkutechnologie und Akkutypen . . . . .	118
4.6.2	Akkus laden . . . . .	120
4.6.3	Umgang mit Akkus . . . . .	124
4.6.4	Multiakku-Multicopter . . . . .	126
4.6.5	Stromverteilung . . . . .	129
4.7	Fernsteuerungssysteme . . . . .	133
4.7.1	Konfiguration und Ausstattung . . . . .	136
4.7.2	Konfiguration der Kanäle . . . . .	138
4.7.3	Mischer, Kurven, Dual Rate . . . . .	139
4.7.4	Zusatzfunktionen . . . . .	140
4.8	Telemetrie . . . . .	142
4.8.1	Spannungsmessung . . . . .	144
4.8.2	Alarmfunktionen . . . . .	145
4.8.3	Alternativen zu integrierter Telemetrie . . . . .	145
4.9	Beleuchtung . . . . .	146
4.10	FPV . . . . .	147
4.10.1	FPV-Kameras . . . . .	148
4.10.2	Sender und Empfänger . . . . .	152
4.10.3	Antennen . . . . .	155
4.10.4	Störungen . . . . .	158
4.11	Gimbals . . . . .	159
<b>5</b>	<b>Flugsteuerungen</b>	<b>161</b>
5.1	Flugstabilisierung . . . . .	163
5.1.1	Steuerungsparameter . . . . .	165
5.1.2	Montage . . . . .	169
5.1.3	MultiWii . . . . .	172
5.1.4	Ardupilot . . . . .	184
5.1.5	DJI . . . . .	193

## **6 Bauprojekt 1 – Einsteiger-Quadrocopter 209**

6.1	Idee .....	210
6.2	Planung .....	211
6.3	Rahmenkonstruktion.....	219
6.4	Antrieb montieren .....	223
6.5	Konfiguration der Flugsteuerung.....	227
6.6	Endmontage .....	236
6.7	Feintuning .....	241
6.8	Jungfernflug.....	245
6.9	Fazit .....	249

## **7 Bauprojekt 2 – Der FPV-Hexacocter 251**

7.1	Idee .....	252
7.2	Planung .....	253
7.3	Rahmenkonstruktion.....	263
7.4	Montage des Antriebs .....	271
7.5	Montage der Flugsteuerung .....	275
7.6	Grundkonfiguration .....	278
7.7	Endmontage.....	284
7.8	Jungfernflug.....	288
7.9	Landegestell.....	295
7.10	FPV-System.....	297
7.11	Propeller.....	301
7.12	Fazit .....	303



## **8 Bauprojekt 3 – Der Video-Quadrocopter 305**

8.1	Idee .....	306
8.2	Planung .....	308
8.3	Rahmenkonstruktion. ....	315
8.4	Montage des Antriebs .....	324
8.5	Montage der Flugsteuerung .....	325
8.6	Grundkonfiguration .....	328
8.7	Endmontage. ....	335
8.8	Jungfernflug .....	344
8.9	Gimbal und Video .....	348
8.10	Feintuning .....	357
8.11	Fazit .....	359

## **9 Wenn etwas nicht funktioniert 363**

9.1	Vorgehensweise bei Problemen. ....	364
9.2	Probleme mit der Hardware. ....	365
9.2.1	Beim Verbinden des Flug-Akkus geben die Geschwindigkeitsregler nicht die normale Tonfolge wieder .....	365
9.2.2	Beim Verbinden des Flug-Akkus entsteht Rauch oder es riecht verbrannt ..	366
9.2.3	Der Flug-Akku ist nach zu kurzer Zeit leer. ....	366
9.2.4	Die Geschwindigkeitsregler werden zu heiß. ....	367
9.2.5	Die Flugsteuerung zeigt keinen Ausschlag der Steuerknüppel an .....	367
9.2.6	Der Multicopter fiept/pfeift. ....	367
9.2.7	Ein Motor ruckelt oder hat Aussetzer ...	368
9.2.8	Ein Propeller dreht durch .....	368
9.2.9	Die Motoren werden heiß. ....	369
9.2.10	Die Ausleger verdrehen sich .....	369

9.3	Start- und Flugverhalten. . . . .	370
9.3.1	Die Motoren lassen sich nicht starten . . . . .	370
9.3.2	Der Multicopter schleudert herum . . . . .	371
9.3.3	Der Multicopter überschlägt sich beim Start . . . . .	371
9.3.4	Der Multicopter reagiert zu stark auf die Fernsteuerung. . . . .	372
9.3.5	Der Multicopter reagiert falsch auf die Fernsteuerung. . . . .	372
9.3.6	Der Multicopter hebt auch bei Vollgas nicht ab. . . . .	372
9.3.7	Bei der Landung kippt der Multicopter um . . . . .	372
9.3.8	Der Multicopter schaukelt sich auf . . . . .	373
9.3.9	Der Multicopter giert im Flug . . . . .	373
9.3.10	Die Flugsteuerung hält die Fluglage nicht . . . . .	373
9.3.11	Die Flugsteuerung hält trotz GPS- stabilisiertem Modus die Position nicht . . . . .	374
9.3.12	Der Multicopter stürzt ab . . . . .	374
9.3.13	Der Multicopter reagiert im Flug nicht mehr auf die Fernsteuerung . . . . .	375
9.4	Probleme mit FPV und Video. . . . .	376
9.4.1	Der FPV-Sender zeigt keinen Betrieb an. . . . .	376
9.4.2	Das FPV-Bild von Ihrem Multicopter wird vom Empfänger (Videobrille oder Monitor) nicht angezeigt. . . . .	376
9.4.3	Das FPV-Bild ist permanent stark gestört. . . . .	377
9.4.4	Die Qualität des FPV-Bildes ändert sich während des Fluges. . . . .	377
9.4.5	Die FPV-Reichweite ist zu klein . . . . .	377
9.4.6	Das Bild der FPV- oder Videokamera wackelt oder wobbelt . . . . .	378
<b>10</b>	<b>Glossar</b>	<b>379</b>
<b>11</b>	<b>Bezugsquellen</b>	<b>391</b>
	<b>Index</b>	<b>395</b>