Christian Rattat

Multicopter selber bauen

Grundlagen – Technik – eigene Modelle

edition Make:

dpunkt.verlag

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.

Papier plus PDF.

Zu diesem Buch – sowie zu vielen weiteren dpunkt.büchern – können Sie auch das entsprechende E-Book im PDF-Format herunterladen. Werden Sie dazu einfach Mitglied bei dpunkt.plus+:

www.dpunkt.de/plus

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
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

3 Werkzeuge und Werkstoffe 53

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

4 Multicopter-Technik 71

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

5 Flugsteuerungen 161

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-Hexacopter 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

10 Glossar 379

11 Bezugsquellen 391

Index 395

Vorwort

Der Modellflug blickt auf eine Geschichte von über 160 Jahren zurück. Bereits 1848 brachte der Engländer John Stringfellow ein motorisiertes Flugmodell erfolgreich in die Luft. Als Antrieb kam eine Dampfmaschine zum Einsatz und Fernsteuerungen gab es damals noch nicht. Interessanter wurde der Modellflug mit dem Einzug brauchbarer Fernsteuerungen in den 1960er- und 1970er-Jahren. Lange Zeit waren Verbrennungsmotoren bei Modellflugzeugen vorherrschend. Zwar gab es recht früh auch Varianten mit Elektromotoren, diese waren aber allein wegen ineffizienter und schwerer Blei-Akkus weniger für Flug- als für Schiffsmodelle geeignet.

Heute sind Multicopter Massenware und sorgen weltweit für Milliardenumsätze. Es gibt sie nicht mehr nur in Modellbaugeschäften, sondern auch in Supermärkten. Obwohl die meisten Menschen heute flugfertige Modelle kaufen und sich nicht mit der Technik befassen wollen, gibt es gute Gründe, eigene Multicopter zu bauen. Der Großteil der fertigen Multicopter sind Spielzeuge, die für viele Anwendungen ungeeignet sind. Für diejenigen, die bei ein wenig Wind noch fliegen möchten, reduziert sich das Angebot schnell auf wenige Fertigmodelle. Auch die Verwendung hochwertiger Kameras ist für Fertigmodelle bis auf wenige und teure Ausnahmen nicht möglich.

Wer sollte dieses Buch lesen?

Dieses Buch ist ideal für alle, die eigene Multicopter bauen oder gekaufte Modelle reparieren wollen. Technisches Geschick und Sachverstand im Umgang mit Werkzeugen und Werkstoffen sollte unbedingt vorhanden sein. Das Buch wendet sich an Einsteiger, aber auch alte Hasen werden nützliche Informationen finden.

Das Buch verzichtet auf viele technische Berechnungen und weitgehend auf Formeln aus der Elektrotechnik, Physik und Luftfahrt. Multicopter berechnen kann man nur, wenn man eine entsprechende Ausbildung absolviert hat. Alle behelfsmäßigen Ansätze für Berechnungen im Vorfeld sind viel zu ungenau, als dass damit wirklich gute Voraussagen über die Eigenschaften des fertigen Multicopters getroffen werden können. Deshalb werden pragmatische Ansätze verfolgt, die zuverlässig zu funktionierenden Lösungen führen oder schnell zeigen, dass ein Konzept nicht funktionieren kann.

Was Sie in diesem Buch finden

- Kapitel 1 enthält eine Einführung ins Thema und erklärt, was Multicopter sind, wieso sie fliegen, welche Bauformen und Anwendungsgebiete es gibt.
- Kapitel 2 gibt eine Übersicht über die Gefahren, die von Multicoptern ausgehen, wie man diese reduzieren kann, und erklärt mit Hinweisen auf Gesetze und Verordnungen, welche Rechte und Pflichten es für Modellflieger gibt.
- Kapitel 3 gibt einen kleinen Überblick über Werkzeuge und Werkstoffe, die für den Bau von Multicoptern verwendet werden.
- Kapitel 4 widmet sich ausführlich der Technik und den Komponenten, die bei Multicoptern zum Einsatz kommen.
- Kapitel 5 beschreibt die der Flugsteuerungen MultiWii, Ardupilot Mega (APM) und die der Firma DJI. Sie erfahren, welche Möglichkeiten diese bieten und einige wichtige Punkte zu deren Konfiguration.
- Kapitel 6 enthält das erste Bauprojekt. Hier erfahren Sie, wie ein kleiner Quadrocopter für den Einstieg konzipiert und gebaut wird und auch, wie die Flugsteuerung konfiguriert wird.
- Kapitel 7 ist schon ein wenig umfangreicher und enthält das zweite Bauprojekt, einen Hexacopter für den FPV-Flug. Auch hier wird aus einer Idee ein Konzept hergeleitet und damit im Anschluss ein fliegender Multicopter gebaut.
- Kapitel 8 enthält das dritte Bauprojekt. Hier geht es um einen großen Quadrocopter für Foto und Video, bei dem ein Kameramann vom Boden die Kamera unabhängig vom Multicopter steuern kann. Hier wird ebenfalls zuerst aus der Idee ein Konzept abgeleitet und erklärt, wie die benötigten Komponenten ermittelt werden.
- Kapitel 9 befasst sich mit der Fehlersuche, falls beim Bau etwas nicht so funktioniert, wie es soll.
- Kapitel 10 enthält ein Glossar für Begriffe und Abkürzungen, die im Zusammenhang mit Multicoptern häufig verwendet werden.
- Kapitel 11 enthält eine Liste mit Bezugsquellen für die Bauteile, die in den Bauprojekten verwendet werden.

Die Webseite zum Buch

Unter *http://www.multicopterbuch.de* finden Sie die Webseite zum Buch. Dort stehen Ihnen folgende Informationen zur Verfügung:

- Ergänzungen zum Buch und Fehlerkorrekturen
- Weitere Bauprojekte und Basteleien
- Links zu Foren, Gesetzen, Herstellern und Anbietern
- Downloads
- Ein Newsfeed, in dem Meldungen zu Vorfällen mit Multicoptern gesammelt werden

Zusätzlich können Sie *@multicopterbuch* auf Twitter folgen.

Danksagungen

Ein Buch zu schreiben, ist kein Pappenstiel und dass dies mein erstes Buch ist, hat es ganz sicher auch nicht einfacher gemacht. Umso mehr haben mir diejenigen geholfen, die mich mit Ideen, Motivation, Hinweisen und Korrekturen unterstützt haben.

Ich danke dem Team vom dpunkt.verlag, das es mir ermöglicht hat, dieses Buch zu schreiben. Auch meiner Lektorin Ursula Zimpfer möchte ich herzlich danken, dass sie dieselben Fehler konsequent Hunderte Male korrigiert hat. Ich habe mich immer gefragt, welchen Sinn der Deutschunterricht in der Schule hatte – den habe ich nun verstanden.

Für das Korrekturlesen, die Hinweise auf Inkonsistenzen, die Hilfe bei der Gestaltung der Texte auf der Webseite zum Buch und bei der technischen Unterstützung bei verschiedenen Themen möchte ich mich bei Peter Griwatsch, Maik Schmidt, Herwart Brinkmann, Katja Borowski, Susan Grey, Dirk Küppers, Wolfgang Lindner und Karsten Wassermann bedanken.

1 Einführung

Modellflug ist seit Jahrzehnten ein Hobby für sehr viele Menschen. Bisher wurden hauptsächlich Flugzeuge und klassische Hubschrauber verwendet. Seit einigen Jahren erfreuen sich aber auch Multicopter wachsender Beliebtheit.

Für die starke Verbreitung gibt es verschiedene Gründe. Gegenüber klassischen Hubschraubern sind Multicopter einfacher zu bauen und zu fliegen. Eine Voraussetzung dafür war, dass Mikrocontroller-Anwendungen für versierte Bastler zum Kinderspiel wurden. Modulare Mikrocontroller-Plattformen wie Arduino (*http://arduino.cc*) erlauben es heute auch Nicht-Elektronikern, in wenigen Stunden Schaltungen zu bauen, die vor zwanzig Jahren nur ein studierter Elektroniker in wochenlanger Arbeit hätte entwickeln können.

Andere Voraussetzungen waren der Einzug hocheffizienter Motoren als Massenware und die Verfügbarkeit computergesteuerter Maschinen, wie CNC-Fräsen und neuerdings auch 3D-Drucker. Wichtig war darüber hinaus die Einführung der 2,4-GHz-Fernsteuerungsanlagen.

Technik und Steuerungen sind heute so ausgereift, dass Multicopter in vielen Bereichen professionell genutzt werden. Dabei ist die Idee des Multicopters nicht neu. In der bemannten Luftfahrt gab es bereits Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts flugfähige Multicopter.

In diesem Kapitel erfahren Sie, was Multicopter sind und wozu sie verwendet werden können.

1.1 An wen richtet sich dieses Buch?

Multicopter sind zweifellos hochkomplexe Geräte. Für den Bau von Multicoptern ist ein gutes Verständnis der benötigten Werkzeuge, Materialien, Komponenten und deren Zusammenspiel eine notwendige Voraussetzung. Wer einen Multicopter selbst baut, beschäftigt sich zwangsläufig auch mit Mechanik, Statik, Elektronik und Software.

Dieses Buch vermittelt viel Wissen über die Funktionsweise aller Komponenten von Multicoptern. Es erklärt, wie diese Komponenten zusammenarbeiten und wie festgestellt werden kann, welche Komponenten zusammenpassen. Anhand von Bauprojekten wird im Detail hergeleitet, wie Multicopter konzipiert und dazu passende Komponenten ermittelt werden. Der Leser erfährt, welche Werkzeuge, Maschinen und Materialien eingesetzt werden können. Auch die Themen Recht und Sicherheit werden eingehend behandelt.

Wie Werkzeuge richtig benutzt werden und wie Materialien korrekt und sicher bearbeitet werden, geht über den Umfang eines solchen Buchs aber deutlich hinaus. Ohne gute handwerkliche Fähigkeiten und ohne die Bereitschaft, sich auch teilweise über das Buch hinaus mit dem Thema zu beschäftigen, ist dieses Buch für Sie nicht geeignet, um einen Multicopter selbst zu bauen.

Wenn Sie das handwerkliche Geschick bereits mitbringen, vor Lötkolben und Dremel nicht zurückschrecken und bereit sind, sich in die Thematik einzuarbeiten, oder bereits Erfahrungen mit Multicoptern haben, dann ist dieses Buch genau der richtige Einstieg, um eigene Modelle jeglicher Art zu entwickeln. Dabei geht es nicht ausschließlich um den Bau eigener Multicopter, sondern auch generell um das Verständnis, wie diese funktionieren. Auch wenn Sie fertige Multicopter verwenden, finden Sie hier viele wichtige Informationen – beispielsweise, wenn Sie diese selbst reparieren wollen.

Ein wichtiger Hinweis in eigener Sache

Die Informationen in diesem Buch beruhen auf meinen Erfahrungen und Kenntnissen. Ich habe alle Angaben im Buch sehr sorgfältig überprüft. Die Bauprojekte wurden, wie hier beschrieben, von mir gebaut und ausführlich getestet. So hat beispielsweise der Video-Quadrocopter bei mir bereits etwa 50 Flugstunden geleistet, ohne dass es zu Problemen kam. Trotz großer Sorgfalt können sich Fehler eingeschlichen haben, die dazu führen, dass bei Ihnen etwas nicht funktioniert. Falls solche Fehler gefunden werden, wird es dazu auf der Webseite zum Buch Korrekturen geben.

Dieses Buch entbindet Sie nicht von der Verantwortung, Eigenbauten oder reparierte Multicopter sorgfältig zu prüfen und sicherzustellen, dass diese keine Schäden anrichten können. Insbesondere bezüglich Sicherheit und Gefahren obliegt der Umgang mit Multicoptern ausschließlich Ihnen.

1.2 Was sind Multicopter?

Multicopter ist ein Kunstwort für Multi-Rotor-Helikopter. Multi bedeutet »mehrere« und bezieht sich hier auf die Anzahl der Rotoren. Das Wort Helikopter stammt aus dem Griechischen und bedeutet sinngemäß Drehflügler. Eine andere Bezeichnung für Helikopter ist Hubschrauber. Multicopter gehören demnach zur Familie der Hubschrauber und haben mehrere Rotoren. Im Englischen werden Multicopter auch Multirotor genannt.

Obwohl Rotor bei Hubschraubern die richtige Bezeichnung ist, wird umgangssprachlich im Modellflug meist der Begriff Propeller verwendet. Wenn Sie in Modellbaugeschäften nach Rotoren für Multicopter suchen, werden Sie diese nur selten unter diesem Namen finden. In diesem Buch wird daher auch meist die Bezeichnung Propeller verwendet.

Abb. 1–1 Quadrocopter im Flug

Hubschrauber sind per Definition senkrecht startende Fluggeräte mit einem oder mehreren Rotoren zur Erzeugung von Auftrieb. Der Unterschied zu Flugzeugen ist nicht etwa, dass die eine Fraktion Tragflächen hat und die andere nicht. Tragflächen haben beide. Nur rotieren diese beim Hubschrauber, um eine entsprechende Strömungsgeschwindigkeit der Luft zu erreichen.

Flugzeuge müssen diese Geschwindigkeit als Ganzes erreichen. Deshalb kann ein Hubschrauber in der Luft stehen, ein Flugzeug aber nicht. Die Grundlage für die Flugfähigkeit bei Hubschraubern und Flugzeugen ist der dynamische Auftrieb. Das grundlegende Prinzip besteht darin, durch unterschiedliche Luftströmungen einen Druckunterschied und damit eine gerichtete Kraft zu erzeugen. Das wird durch die Form der Tragflächen erreicht.

Eine Tragfläche ist so konstruiert, dass sich die Anströmung, also die auftreffende Luft, unter der Tragfläche staut. Im geschützten Bereich oberhalb der Tragfläche, der nicht direkt vom Luftstrom erreicht wird, entsteht ein Unterdruck.

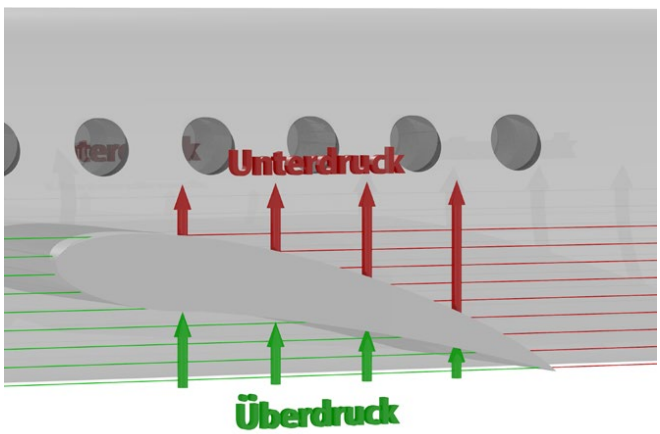

Abb. 1–2 Dynamischer Auftrieb an einer Tragfläche

Die Luft wird gezwungen, den längeren Weg an der Oberseite schneller zurückzulegen, während diese im unteren Teil gebremst wird. Da sich zwei unterschiedliche Drücke immer ausgleichen wollen, wird so eine nach oben wirkende Kraft erzeugt. Ist diese Kraft groß genug, kann sie die Gewichtskraft eines Luftfahrzeugs überwinden.

Wenn ein Multicopter ein Hubschrauber ist, wieso verwenden wir dann nicht einen klassischen Hubschrauber mit einem Hauptrotor und Heckrotor, werden Sie sich vielleicht fragen. So würden doch weniger Motoren und weniger Propeller benötigt. Eine Antwort auf diese Frage lautet, dass bei einem Multicopter dadurch die Komplexität erheblich reduziert wird. Gleichzeitig steigt auch noch die Flugstabilität.

Ein Hubschrauber mit nur einem Hauptrotor erzeugt zunächst nur in zwei Richtungen Kräfte: eine nach oben gerichtete Kraft in Richtung der Rotorachse und eine Rotationskraft um die Rotorachse. Der Kraft nach oben wirkt die Gewichtskraft des Hubschraubers entgegen, der Rotationskraft lediglich die Massenträgheit. So könnte der Hubschrauber nicht vernünftig fliegen. Er könnte zwar steigen und sinken, würde sich dabei aber um die Rotorachse drehen. Damit das nicht geschieht, gibt es den Heckrotor, der die Rotationskraft kompensiert.

Es gibt auch andere Lösungen, wie Koaxial-Rotoren. Hier drehen sich zwei Rotoren an einer Achse entgegengesetzt. So entstehen zwei entgegengesetzte Rotationskräfte, die sich aufheben. Durch Ändern der Schubkraft des Heckrotors kann ein Hubschrauber gezielt um die Rotorachse gedreht werden. Bei einem Koaxial-Rotor muss dazu der Schub eines Rotors größer als der des anderen werden. Eine weitere Variante anstelle des Heckrotors ist ein seitlicher Schubstrahl, der aus dem Abgasstrom der Turbine für den Hauptrotor erzeugt wird.

Allein mit der nach oben gerichteten Kraft könnte ein Hubschrauber sich aber nur vertikal bewegen. Horizontale Bewegungen wären damit nicht möglich. Horizontale Bewegungen werden bei Hubschraubern über eine Konstruktion erreicht, die sich *Taumelscheibe* nennt. Eine Taumelscheibe ist eine komplizierte Konstruktion aus Lagern, Hebeln und Gestängen. Mit ihr kann der Anstellwinkel der Rotorblätter verändert werden. Durch Änderung des Anstellwinkels ändert sich die Schubkraft. Ändert sich der Anstellwinkel für alle Rotorblätter gleichermaßen, so ändert sich die Schubkraft in Richtung der Rotorachse. Damit wird der Auf- und Abstieg kontrolliert.

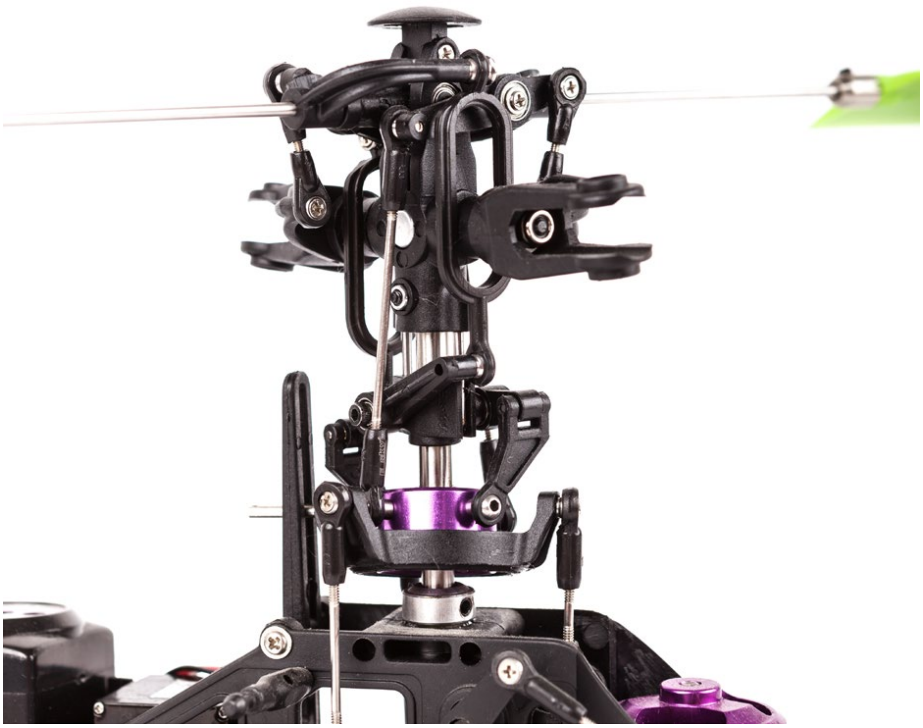

Abb. 1–3 Hebel, Gestänge, Lager: Alles zusammen bildet die Taumelscheibe.

Um eine horizontale Kraft zu erzeugen, darf die Rotorachse nicht mehr senkrecht stehen, sondern muss in die Richtung gekippt sein, in die der Hubschrauber sich bewegen soll. Um die Rotorachse zu kippen, wird eine entsprechende Kraft benötigt. Die Taumelscheibe erzeugt diese Kraft, indem sie die Anstellwinkel der Rotorblätter nur in einem Teil des Rotorkreises ändert. Wenn ein Rotorblatt diesen Abschnitt erreicht, wird der Anstellwinkel geändert und beim Verlassen wieder zurückgestellt. Das bewirkt, dass der Schub in diesem Abschnitt anders als im Rest des Rotationskreises ist. Dadurch kippt der gesamte Hubschrauber.

Die Rotorachse steht dann nicht mehr senkrecht und die Auftriebskraft wirkt schräg nach oben. Aus dem Physikunterricht ist Ihnen vielleicht noch bekannt, dass jede Kraft in vertikal und horizontal wirkende Kräfte zerlegt werden kann. Würde die Rotorachse um neunzig Grad gekippt, würde das aus dem Hubschrauber ein Flugzeug machen. Aufgrund fehlender Tragflächen würde dieses aber abstürzen, da es keine nach oben wirkende Kraft mehr gäbe. Wenn die vertikale Kraft das Gewicht des Hubschraubers ausgleicht, führt effektiv nur noch die horizontale Kraft zu einer Bewegung. Der Hubschrauber fliegt auf diese Weise parallel zum Boden.

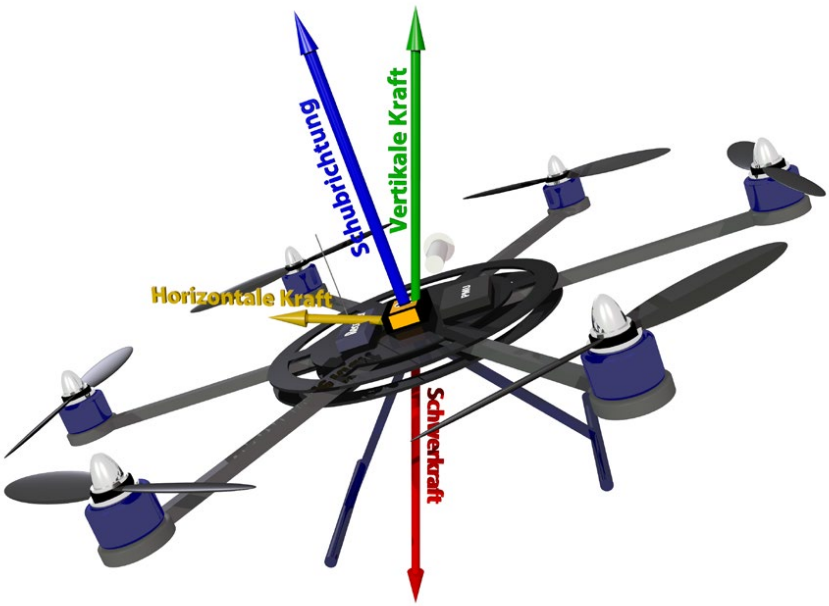

Abb. 1–4 Verteilung der Kräfte bei horizontaler Bewegung

Ein Multicopter fliegt nach demselben Prinzip. Es gibt zwar auch Multicopter, die Taumelscheiben verwenden, das ist jedoch nur sehr selten der Fall. Gerade der Verzicht auf die Komplexität der Taumelscheibe erlaubt dem Modellbauer, Multicopter mit verhältnismäßig einfachen Mitteln selbst zu bauen. Damit ein Multicopter sich horizontal bewegen kann, muss er genau so kippen können wie ein Hubschrauber mit nur einem Rotor mit einer Taumelscheibe. Dazu werden um den Schwerpunkt des Hubschraubers mehrere Propeller angeordnet, die separat gesteuert werden können.

Drehen alle Propeller gleich schnell, wirkt die Summe der Kräfte nach oben. Dreht ein Rotor schneller, hebt er den Hubschrauber an dieser Stelle an. Das entspricht dem Prinzip der Taumelscheibe. So entfällt die komplizierte Taumelscheibe und auch gleich der gesamte Rotorkopf. Ein Multicopter kann dadurch mit starren Propellern aufgebaut werden.

Damit ergibt sich aber noch ein Unterschied zum Rotor mit Taumelscheibe. Bei einem Rotor mit Taumelscheibe kann der Rotor mit konstanter Drehzahl drehen. Der Schub wird einfach über eine Änderung der Anstellwinkel der Rotorblätter verändert. Da bei starren Rotoren der Anstellwinkel nicht verändert werden kann, lässt sich der Schub nur über die Rotationsgeschwindigkeit verändern. Dazu werden Motoren benötigt, deren Drehzahl sich kontrollieren lassen.

Abb. 1–5 Elektromotor mit starrem Propeller

Ein Multicopter mit mehreren Antrieben und starren Propellern erfordert zusätzliche Maßnahmen. Die Motoren müssen einzeln angesteuert werden, da für horizontale Bewegungen einzelne Motoren schneller drehen müssen. Ein Mensch könnte die Drehzahl der Motoren nicht direkt kontrollieren. Er könnte weder die benötigten Schübe für die einzelnen Propeller erfassen, noch könnte er ausreichend schnell oder exakt reagieren.

In einer perfekten Umgebung ohne äußere Einflüsse würde ein Multicopter bei gleichem Schub für alle Propeller sich nur in der Vertikalen bewegen. In der Praxis kommen aber äußere Einflüsse hinzu. Seiten-, Auf- und Abwinde erfordern Anpassungen der Drehzahlen. Um das Wegkippen des Multicopters zu verhindern, müssen die Drehzahlen der Motoren in Millisekunden angepasst werden. Wenn ein Multicopter zu weit kippt, ist es nicht möglich, diesen wieder zurück zu kippen. Im Prinzip ist das wie das Balancieren eines Besens auf einem Finger.

Eine Voraussetzung für die Massentauglichkeit von Multicoptern war die Verfügbarkeit von verschleißarmen, schnell drehenden Motoren, deren Drehzahlen sich schnell in großen Bereichen verändern lassen. Diese sind heute in großen Stückzahlen herstellbar und verhältnismäßig günstig. Ihren Ursprung hatten diese Motoren aber in ganz anderen Geräten, wie beispielsweise in Tonbandmaschinen. Lesen Sie dazu mehr in Kapitel 4.

1.3 Selbst bauen oder kaufen?

Multicopter gibt es mittlerweile wie Sand am Meer. Suchmaschinen im Internet liefern Millionen von Einträgen für Begriffe rund um Multicopter. So viele Einträge finden sich für viele andere Dinge nicht. Suchen Sie mal nach Bratpfanne oder nach Eiskratzer. Beides wird sicher häufiger genutzt als Multicopter.

Multicopter können als mehr oder weniger flugfertige Modelle gekauft werden. Diese finden sich dann unter Bezeichnungen wie RTF (engl. ready to fly) oder ARF (engl. almost ready to fly). RTF- und ARF-Multicopter bestehen aus mehr oder weniger gut aufeinander abgestimmten Komponenten, die schon ganz oder zum großen Teil vormontiert sind. Je nach Variante müssen diese Komponenten nur noch zusammengeschraubt oder sogar nur noch der Flug-Akku geladen werden.

Wie lässt sich nun feststellen, ob so ein Multicopter für Ihre Zwecke geeignet ist? Am einfachsten wird dieser gekauft und ausprobiert. Wenn Sie die ersten Multicopter gekauft haben und diese nicht Ihren Erwartungen entsprechen, werden Sie sich entweder ein anderes Hobby suchen oder Sie beschäftigen sich mit der Technik und lernen, wie Sie Multicopter selbst bauen. Alternativ lassen Sie sich für viel Geld einen passenden Multicopter anfertigen.

Um ein Modell ohne Praxistest beurteilen zu können, benötigen Sie die technischen Daten aller wichtigen Komponenten. Sie müssen verstehen, wie gut diese Komponenten zueinander passen und wie deren Qualität ist. Das sind dieselben Voraussetzungen, die Sie brauchen, wenn Sie Multicopter selbst bauen. Beim Eigenbau können Sie alle Komponenten selbst aussuchen und haben viele Freiräume bei der technischen Umsetzung und den Kosten. Darüber hinaus können einzelne Teile einfach durch andere ersetzt werden, wenn diese nicht gut oder nicht mehr verfügbar sind. Das ist ein großer Nachteil bei RTF- und ARF-Multicoptern.

Einige Hersteller versuchen mittlerweile, ihre Kunden durch spezielle Komponenten an sich zu binden. Das sind beispielsweise Formteile oder in spezielle Gehäuse verpackte Standardkomponenten mit ein wenig Zusatzelektronik, die sich nicht einfach durch andere Komponenten ersetzen lassen. Diese speziellen Komponenten sind dann auch noch zum Teil stark überteuert. Verschwindet ein Hersteller vom Markt oder lässt einer ein Modell auslaufen, gibt es keine Ersatzteile mehr.

Einen Multicopter in Eigenregie zu bauen ist keine große Kunst. Natürlich brauchen Sie dazu technisches Verständnis. Sie müssen auch mit Werkzeugen und kleineren Maschinen umgehen können. Die eigentliche Herausforderung besteht aber in der Auswahl von Komponenten, die für die Umsetzung der eigenen Anforderungen an einen Multicopter geeignet sind.

Dieses Buch gibt Ihnen dazu die Grundlagen und ausführliche Beispiele. Multicopter selbst zu bauen bedeutet aber auch, zu recherchieren, zu testen und zu tüfteln. Manchmal werden Sie vielleicht lange an Problemen zu knacken haben, bis eine Lösung gefunden ist. Dazu benötigen Sie eine Grundausstattung an Werkzeugen und Maschinen, die Sie sich gegebenenfalls erst noch zulegen müssen. Wenn Sie statt zu basteln und tüfteln einfach nur möglichst schnell in die Luft wollen, ist es vielleicht sinnvoller, fertige Modelle zu verwenden oder bauen zu lassen.

Selbst bauen heißt aber nicht, dass Sie aus einem Baumstamm und einem Klumpen Bauxit einen Multicopter schnitzen und Aluminium für die Motoren selbst gewinnen müssen. Prinzipiell können Sie zwar alle Teile eines Multicopters selbst bauen. Das gilt sogar für Motoren, Propeller oder Flugsteuerungen. Im Normalfall werden Sie sich diese Mühe aber nicht machen und auf bewährte Dinge zurückgreifen. Selbst bauen bezieht sich oft mehr auf die Suche nach passenden Komponenten und auf die Anfertigung von Teilen, die nicht oder nicht passend für den benötigten Zweck zu kaufen sind.

Es ist absolut nicht verkehrt, wenn Sie alle Teile bei verschiedenen Händlern kaufen und diese dann nur noch zusammenbauen. Je nach Ansprüchen verwenden Sie günstige Materialien aus Baumärkten bis hin zu ultraleichten Verbundwerkstoffen. Und auch bei Werkzeugen und Maschinen ist die Bandbreite bezüglich der Möglichkeiten und Kosten sehr groß.

Abgesehen von Spielzeugmodellen, die es im Komplettpaket mit Fernsteuerung für unter 100 Euro zu kaufen gibt, ist das Multicopter-Hobby generell nicht billig. Wenn Sie bei null beginnen und keine Werkzeuge und Fernsteuerung besitzen, werden schnell 500 Euro für den ersten, kleineren Multicopter fällig. Günstige Fernsteuerungen mit Empfänger im Set kosten ab etwa 150 Euro aufwärts. Ein minimalistischer Multicopter aus günstigsten Teilen kostet zusammen mit einem Akku etwa um die 150 Euro. Dann benötigen Sie ein Ladegerät für den Flug-Akku, das mit mindestens 20 Euro zu Buche schlägt. Wenn Ihre Werkzeugkiste dann nur Wasserpumpenzange und Zimmermannshammer enthält, sind die 500 Euro in Summe schnell erreicht.

Wenn es um größere Modelle mit Kamera und FPV (siehe Kapitel 4) geht oder wenn Sie zusätzliche Anforderungen haben, steigen die Kosten schnell auf 1000 Euro und mehr.

1.4 Wie werden Multicopter gesteuert?

Das Fliegen von Multicoptern ist relativ einfach, wenn stabilisierte Flugsteuerungen verwendet werden. Selbst Anfänger, die vorher nie geflogen sind, bekommen solche Multicopter innerhalb von Minuten in den Griff. Stabilisierte Flugsteuerungen verfügen über Sensoren, welche Lage und Bewegungen, manchmal auch absolute Positionen im Raum und Himmelsrichtungen erfassen können. Mit diesen Informationen bestimmt eine Flugsteuerung, ob der Multicopter im gewollten Zustand ist.

Der gewollte Zustand ist der, den die Stellungen der Hebel und Schalter an der Fernsteuerung vorgeben. Stehen alle Hebel in Neutralposition und der Schub auf »Schweben«, ist der gewollte Zustand, dass der Multicopter auf der Stelle fliegt. Wird der Schub erhöht, ist der gewollte Zustand, dass der Multicopter steigt. Wird der entsprechende Hebel auf »Vorwärtsflug« bewegt, ist der gewollte Zustand, dass sich der Multicopter vorwärts bewegt.

Fliegen ist einfach?

Eine Flugsteuerung mit GPS-Unterstützung lässt einen Multicopter auf der Stelle stehen. Hier können Sie die Fernsteuerung beiseite legen und sich um die Steaks auf dem Grill und ein Bierchen kümmern. Die Steuerung ist so einfach wie ein Computerspiel mit Joystick. Manche Modellflieger schreiben das ihren Flugkünsten zu. Bricht aber der GPS-Empfang ab, entwickelt der Multicopter ein Eigenleben. Dann zeigt sich, wie gut die Flugkünste wirklich sind. Es ist keine Schande, automatisierte Flugmodi zu verwenden. Aber Sie müssen in der Lage sein, die Kontrolle auch selbst zu übernehmen und den Multicopter zumindest ohne Personenschäden kontrolliert auf den Boden zu holen. Wenn Sie in so einer Situation vor Panik in Schockstarre verfallen, sollten Sie in sicherer Umgebung das Fliegen in anderen Flugmodi üben, bis Sie Ihren Multicopter auch dabei sicher beherrschen.

Eine Flugsteuerung (engl. flight control) ist ein Kleinstcomputer, der Daten von Sensoren sammelt, diese mit den Eingaben der Fernsteuerung verbindet und daraus die Ansteuerung der Motoren ableitet. Die leichtesten Flugsteuerungen wiegen nicht einmal 10 g.

Einen PC mit Windows-Betriebssystem suchen Sie hier vergebens. Normale Betriebssysteme könnten einen Multicopter nicht steuern. Das geht nur mit Echtzeitbetriebssystemen. Bei normalen PC-Betriebssystemen warten Prozesse permanent auf irgendwas. Beispielsweise darauf, dass eine Festplatte aus der Hibernation erwacht. Diese Zeit reicht schon aus, um dass ein Multicopter in Einzelteile sortiert 30 cm tief im Boden steckt.

Die meisten Flugsteuerungen haben deshalb kein Betriebssystem. Als Software wird im Prinzip nur das Programm der Flugsteuerung installiert. Beim Einschal-

ten der Flugsteuerung läuft dann sofort dieses eine Programm. Der Vorteil dieses Konzepts ist, dass es kaum zu Fehlern kommt, die nicht im Flugsteuerungsprogramm enthalten sind.

Zudem ist der Programmcode hier gegenüber einem Betriebssystem extrem klein. Es gibt aber auch Flugsteuerungen, die ein Betriebssystem verwenden. Eine davon ist zum Beispiel der *Pixhawk Autopilot* mit dem *NuttX RTOS* (*http://nuttx.org*).

Eine Multicopter-Steuerung ist eine klassische Anwendung der Mess- und Regeltechnik. Sie misst über Sensoren Istzustände, vergleicht diese mit Sollzuständen und trifft bei Bedarf Maßnahmen, die Istzustände in die Sollzustände zu bringen. Je mehr Istzustände über Sensoren erfasst werden, desto mehr Sollzustände können automatisiert hergestellt werden. So ergeben sich die unterschiedlichen Flugmodi. Manchmal soll die Flugsteuerung aber auch nicht eingreifen und es werden dann für einen Flugmodus bestimmte Sensoren nicht ausgewertet.

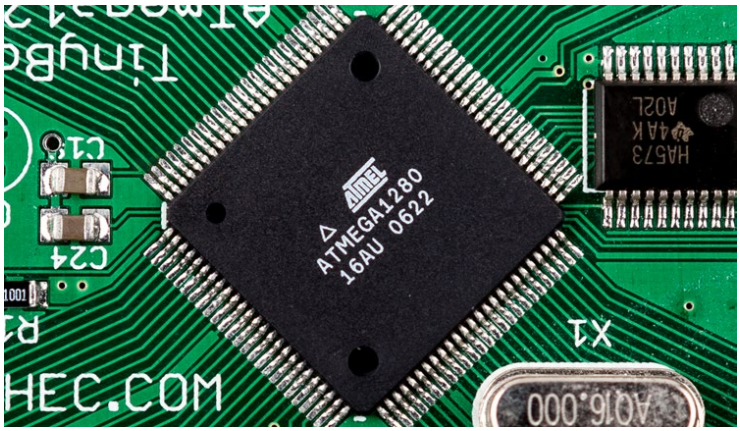

Abb. 1–6 Mikrocontroller Atmel ATMEGA1280

Manche Flugsteuerungen folgen dem Open-Source-Prinzip. Das bedeutet, dass Elektronik und Software offen dokumentiert sind. So können Open-Source-Flugsteuerungen von jedem nachgebaut und verändert werden. Andere Flugsteuerungen sind Blackboxen, die nur vom Hersteller verändert werden können. Es ist nicht allzu wichtig, welche Flugsteuerung verwendet wird. Wichtig ist, dass die benötigten Flugmodi und Funktionen zur Verfügung stehen und die dazu notwendigen Sensoren verfügbar sind.

Natürlich setzen manche Flugsteuerungen dieselben Funktionen anders als andere um. Oft ist es aber nur Geschmacksache, welche Umsetzung die bessere ist. In jedem Fall sollte die Möglichkeit bestehen, die Software zu aktualisieren.

Anderenfalls können Fehler später nicht korrigiert werden. Über Aktualisierungen werden oft auch neue Funktionen verfügbar. Allerdings können durch Aktualisierungen auch Verschlechterungen auftreten. Wenn Sie keine Probleme haben und keine neuen Funktionen nutzen wollen, sollten Sie auch keine neuen Versionen einspielen.

Angriffe auf Multicopter finden im Gegensatz zu PCs aktuell noch nicht statt. Daher müssen mit neuen Versionen auch nicht ständig Sicherheitslücken gestopft werden. Es gibt allerdings einen ersten Fall, wo für den Multicopter Parrot AR.Drone 2.0 eine Sicherheitslücke im verwendeten Betriebssystem festgestellt wurde, die es Angreifern ermöglichen soll, die Kontrolle des Multicopters zu übernehmen.

Beim Modellflug werden oft Fachbegriffe aus der Fliegersprache verwendet. Diese erlauben, Situationen kurz und präzise zu beschreiben. Begriffe wie Schlingern, Eiern, Rumzucken und Rumzicken lassen der Fantasie viel Spielraum. Besser ist es, die Dinge beim korrekten Namen zu nennen. So werden die Bewegungen eines Fluggeräts mit speziellen Begriffen bezeichnet.

Das Drehen um die Hochachse wird *gieren* genannt. Die Hochachse wird deswegen auch als Gierachse bezeichnet. Dreht sich ein Fluggerät um seine in Flugrichtung zeigende Längsachse, nennt sich das *rollen*. Und die Drehung um die Querachse nennt sich *nicken*, also wenn das Fluggerät die »Nase« hebt oder senkt.

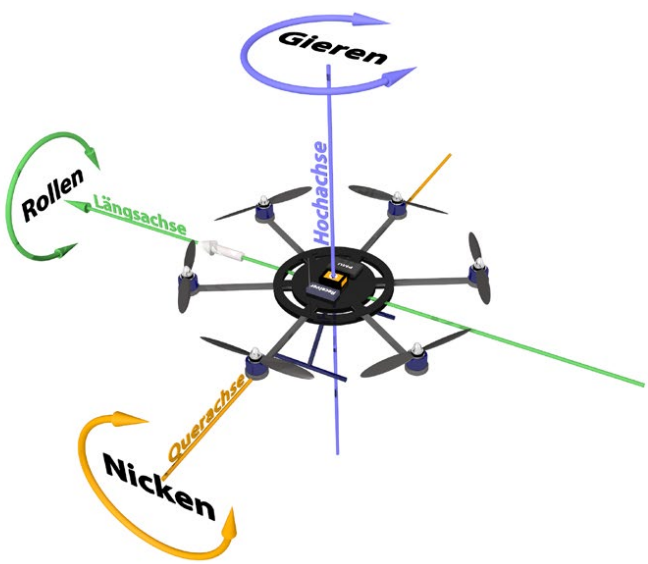

Abb. 1–7 Achsen und Drehbewegungen bei einem Multicopter

Spezielle Bezeichnungen werden auch für Flugmodi verwendet. Davon gibt es je nach Flugsteuerung mehr oder weniger viele. Die Flugmodi finden Sie in Kapitel 5 für die dort jeweils beschriebenen Flugsteuerungen. Eine umfangreiche Erklärung vieler Fachbegriffe enthält das Glossar am Ende des Buchs.

Abgesehen von speziellen Programmierungen von Fernsteuerungen, sogenannten Mischern, fliegen Sie einen Multicopter ähnlich wie ein Flugzeug mit Höhenruder (nicken), Seitenruder (gieren) und Querruder (rollen). Der Unterschied zum Flugzeug besteht darin, dass ein Multicopter Flugbewegungen machen kann, die bei einem Flugzeug nicht möglich sind. Beispielsweise kann man anhalten und nach links fliegen.

Die drei Ruder sorgen für die Bewegungen in der Skizze oben. Sie haben dazu zwei Steuerknüppel, die jeweils in zwei Richtungen bewegt werden können. So gibt es vier Richtungen, drei für die Ruder und einen für Gas (Schubregelung). Mit dem Querruder und dem Seitenruder bewegen Sie den Multicopter horizontal. Das Seitenruder wird für elegantere Kurvenflüge verwendet. Prinzipiell können Sie ohne Seitenruder auskommen. Dann können Sie aber die »Nase« nicht in Flugrichtung ausrichten.

1.5 Wo kommen Multicopter zum Einsatz?

Multicopter sind nicht nur Spielzeuge. Sie werden auch professionell und kommerziell eingesetzt. Militär und Polizei sind vor allem an Überwachung und Aufklärung interessiert. Nie war es für die Polizei leichter, bei großen Veranstaltungen mit gleich mehreren fliegenden Kameras in strategisch günstigen Positionen den Überblick zu behalten. Das geht sonst nur mit bemannten Hubschraubern. Deren Einsatz ist aber nach wie vor äußerst teuer.

Kleine Multicopter mit Videokameras und Übertragung des Kamerabilds an eine Bodenstation können nahezu überall fliegen. Sie kosten nur Bruchteile von bemannten Hubschraubern. In Deutschland werden von der Polizei verschiedene Multicopter eingesetzt. Teilweise werden diese dort sogar in Eigenregie entwickelt.

Auch für Hilfs- und Rettungskräfte bieten fliegende Kameras enormes Potenzial bei der Aufklärung und Situationsanalyse. Nach Erdbeben, Bränden und anderen Katastrophen sind Gebiete oft nicht mehr zugänglich. Rettungskräfte können ohne Eigengefährdung vielleicht nicht einmal nach Verletzten suchen. Genau hier können Multicopter sehr effektiv und in größerer Anzahl eingesetzt werden. Sie verschaffen schnell Überblick und niemand muss sich in Gefahr begeben. Selbst in Gebäuden können Multicopter fliegen und Videobilder von

dort übertragen. Zudem können Multicopter mit zusätzlichen Geräten ausgestattet werden, wie beispielsweise Wärmebildkameras oder Sensoren für giftige oder radioaktive Stoffe, um weitere Informationen zu erhalten.

Abb. 1–8 Von der Polizei eingesetzter AirRobot AR-100 B der Firma AirRobot GmbH & Co KG aus Arnsberg

Im privatwirtschaftlichen Bereich liegen die Anwendungen zurzeit vor allem bei Video- und Fotoaufnahmen. Für TV und Kino schaffen Multicopter Möglichkeiten für neue Perspektiven oder ersetzen teilweise komplizierte, unhandliche Stativkonstruktionen. Firmen präsentieren sich neben Fotos immer öfter auch mit Filmen, die deren Anlagen und Gebäude aus der Luft zeigen.

Auch Fotografen bedienen sich der neuen Perspektiven. Gruppenfotos bei Hochzeitsgesellschaften aus der Luft liegen stark im Trend. Aber nicht nur für Unterhaltungszwecke werden Videoaufnahmen und Fotos mit Multicoptern gemacht. Auch im handwerklichen und industriellen Bereich ist das sehr nützlich. So verwenden manche Dachdecker Multicopter zur Inspektion von Dächern und sparen sich so unnötige Klettereien.

Auch zur Inspektion von Industrieanlagen sind Multicopter geeignet. Bevor ein Industriekletterer einen Schornstein erklimmt, ist ein Multicopter mit hochauflösenden Bildern schon wieder am Boden und die Bilder sind ausgewertet. Auch bedarf es mit einem Multicopter keiner großen Vorbereitungen. Wenn Wind und Wetter passen, kann es jederzeit losgehen.

Abb. 1–9 High-End-Videoplattform: MULTIROTOR by service-drone.de

Im Hobbybereich werden Multicopter auch zum Filmen und Fotografieren eingesetzt. Viele Modellflieger verwenden aber auch keine Kameras und interessieren sich nur für das Fliegen an sich. Es gibt auch immer öfter 3D-Flieger mit Multicoptern. 3D-Flug ist eine Art Kunst- oder Akrobatikflug. Dort gibt es Flugmanöver, wie Loopings und Flips, die viele Multicopter-Flieger eher von Abstürzen kennen dürften.

Eine etwas obskure Anwendung für Multicopter ist das Heavy Lifting. Dabei geht es um das Heben möglichst schwerer Lasten. Es gibt hier auch Wettbewerbe. Bei einem Beer-Lifting-Wettbewerb im Jahre 2013 hat der Sieger eine Nutzlast von 58,7 kg mit einem Quadrocopter durch die Gegend geflogen. Über Sinn und Unsinn lässt sich sicher streiten. Bemerkenswert ist hierbei vor allem, dass quasi jeder, der einen Multicopter selbst bauen kann, auch solche Varianten bauen kann. Ich rate davon aber eindringlich ab! Ein Multicopter mit so einer Leistung ist vergleichbar mit einer fliegenden Häckselmaschine ohne Schutzmaßnahmen.

1.6 Wie unterscheiden sich Multicopter?

Es gibt verschiedene Bauformen von Multicoptern. Diese unterscheiden sich hauptsächlich durch die Anzahl von Motoren. Die gängigen Bauformen werden dann folgendermaßen genannt: