

Patrick Leiner

RACERDROHNEN

SELBER BAUEN

In nur 16 Schritten zum eigenen
FPV-Racercopter – ganz ohne
Vorkenntnisse



Zusatz-
material zum
Download



- Schritt für Schritt selbst gebaut
- Komplet in Farbe
- First Person View Racing
- und vieles mehr

FRANZIS

Patrick Leiner

**RACERDROHNEN
SELBER BAUEN**

Patrick Leiner

RACERDROHNEN

SELBER BAUEN

In nur 16 Schritten zum eigenen
FPV-Racercopter – ganz ohne
Vorkenntnisse



Zusatz-
material zum
Download



- Schritt für Schritt selbst gebaut
- Komplet in Farbe
- First Person View Racing
- **und vieles mehr**

FRANZIS

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.

© 2017 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.

Herausgeber: Ulrich Dorn

Satz & Layout: DTP-Satz A. Kugge, München

art & design: www.ideehoch2.de

ISBN 978-3-645-25402-1

Vorwort

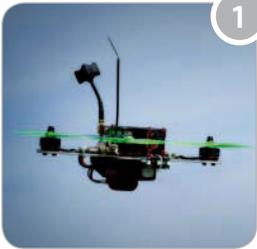
Wer hat als Kind nicht schon einmal davon geträumt, fliegen zu können? FPV-Racing begeistert heute jeden, der sich für schnelle Flugzeuge, Rennevents und Multicopter interessiert. Ist das Fliegen aus der Ich-Perspektive der neue Trendsport? Über den großen Teich herübergeschwappt ist die Faszination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

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

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

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

Patrick Leiner



1

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

Was ist FPV-Racing? 13

Die Drone Racing League..... 14

Ablauf eines FPV-Rennens 15

Verschiedene Rennklassen 16

Was wird alles benötigt?..... 17



2

Einzelteile eines Racecopters..... 21

Der Rahmen und seine Bestandteile 22

 Wie der Rahmen aufgebaut ist..... 22

 Materialanforderungen an den Rahmen..... 23

 Rahmengröße und Einsatzzweck..... 24

Die Motoren 25

 Gleichstrombürstenmotoren 26

 Brushlessmotoren..... 27

 Innen- und Außenläufer..... 28

 Kennzahlen von Brushlessmotoren..... 29

 Wartung von Brushlessmotoren..... 33

Der Brushlessregler ESC..... 34

 Funktionsweise des Brushlessreglers 34

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

 SimonK-Software..... 37

 BLHeli-Software 37

 OneShot125-Protokoll 37

 BEC oder Opto..... 38

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

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

 UBEC — Spannungsversorgung ohne ESC..... 41

 PDB — Energieversorgung auf kleinstem Raum 42

Die Luftschraube 42

 Kunststoff, Glasfaser oder Carbon? 43

 Wichtige Kennzahlen einer Luftschraube 44

 Unterschiedliche Montagemöglichkeiten 44

 Auswahl geeigneter Luftschrauben 46

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

 Auswahl der Luftschraube..... 48

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



3

Das FPV-System 117

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



4

Aufbau eines Racetracks 135

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



5

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

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



6

Antriebsleistung und Flugzeit 151

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

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

Gesetzes- und Rechtslage 165



7

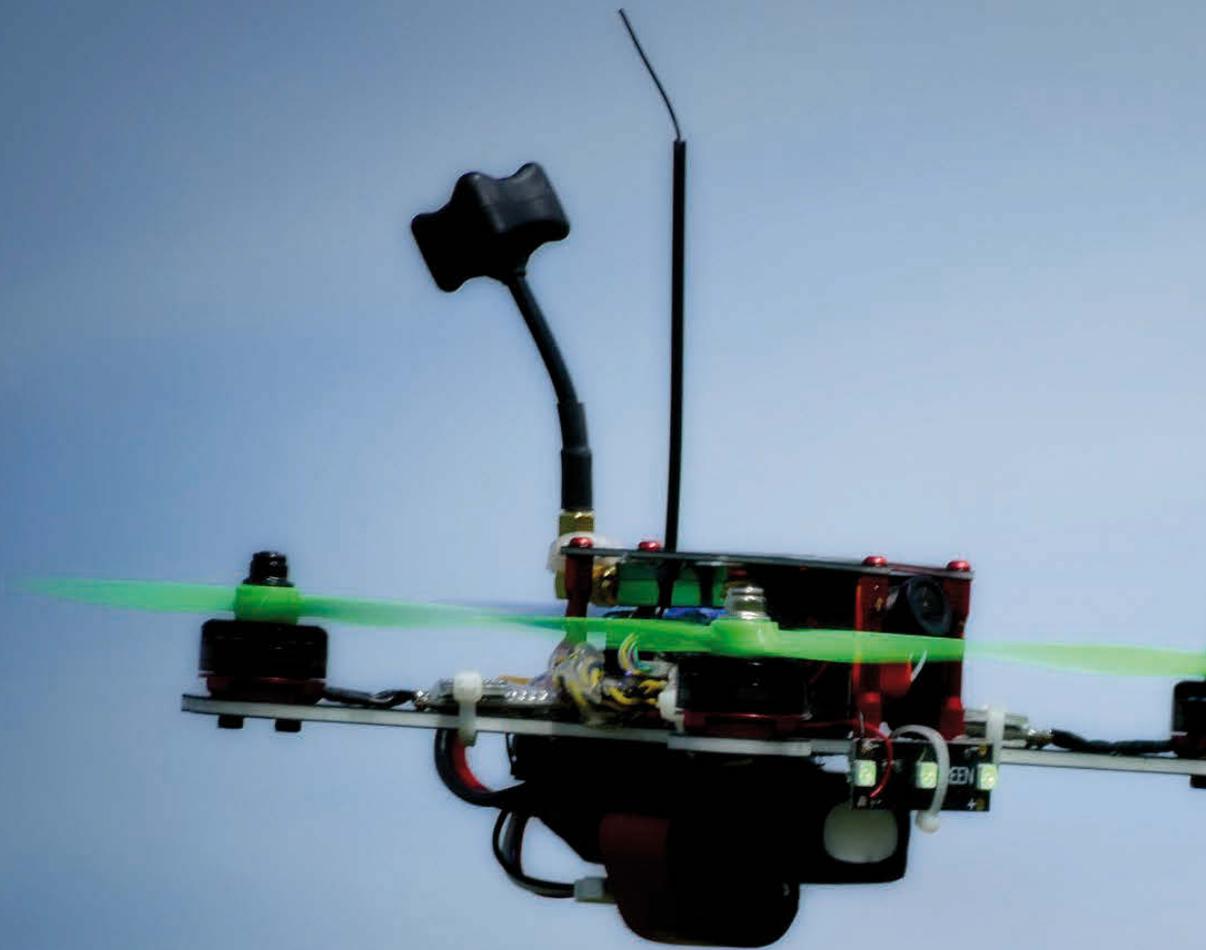
Gesetze und Versicherung.....	166
UAV oder Modellflugzeug?	167
Modellflugversicherung abschließen.....	167
Luftfahrtrecht und Luftraumklassen	169
Rechtsvorschriften und die neue Drohnen-Verordnung	173
Ausnahme speziell für FPV-Flieger	176

Bauen Sie Ihren FPV-Racecopter 179



8

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





1

Die Welt der FPV-Rennen

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

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



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

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

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

WAS IST FPV-RACING?

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



FPV-Racecopter im Flug.

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

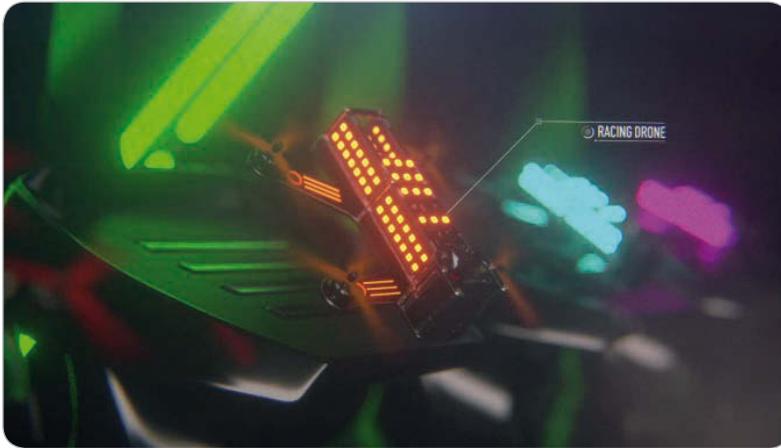


Der Parcours mit seinen Hindernissen.

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

DIE DRONE RACING LEAGUE

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



Blick auf den DRL-Simulator.

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

ABLAUF EINES FPV-RENNENS

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



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

VERSCHIEDENE RENNKLASSEN

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

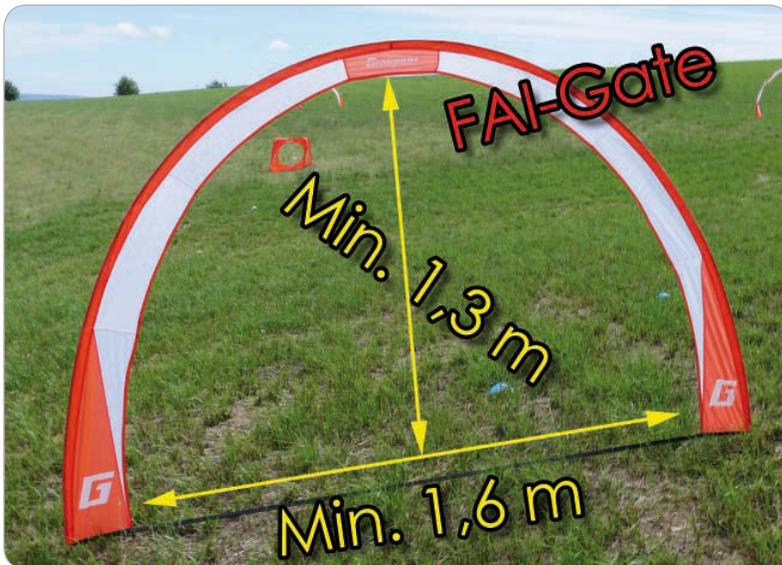
In der Königsklasse, der Drone Racing League, existiert nur eine Klasse, in der alle Copter gleich aufgebaut sind. Das bedeutet, alle Copter besitzen exakt die gleichen Leistungs- und Größenparameter. Bei diesen Rennen kommt es also tatsächlich ausschließlich auf das Können der Piloten an. In Rennen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

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

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

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

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



FAI-Gate von Graupner.

WAS WIRD ALLES BENÖTIGT?

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

Ein Racecopter besteht aus den folgenden FPV-Komponenten:

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

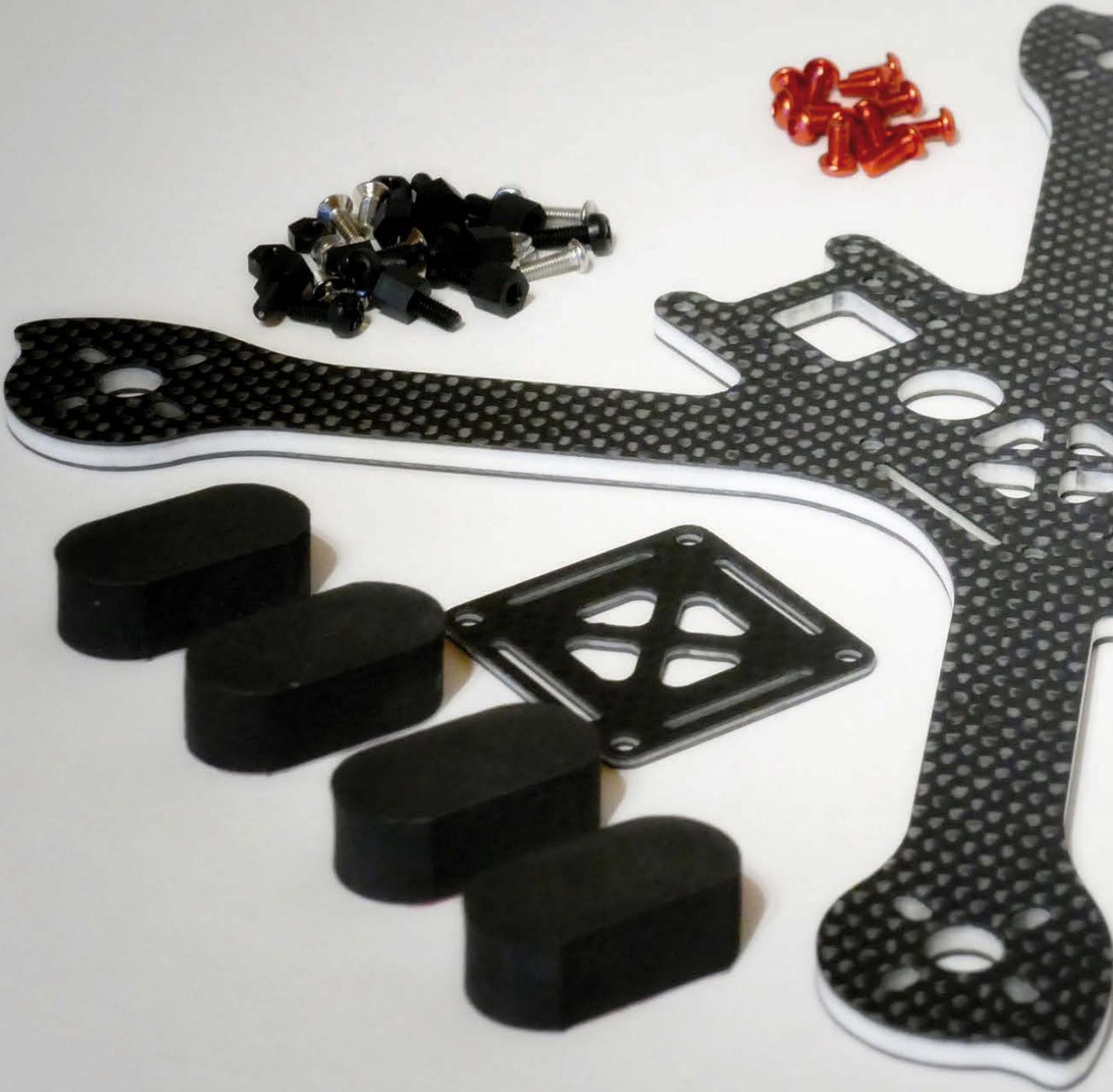


Der Pilot selbst benötigt noch eine FPV-Brille zum Empfangen des Videobilds und eine Fernsteuerung.

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



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



2

Einzelteile eines Racecopters

Der Rahmen und seine Bestandteile	22
Die Motoren	25
Der Brushlessregler ESC.....	34
Die Luftschraube	42
Der LiPo-Akku: Spannung pur	50
Das richtige Ladegerät	59
Der Flightcontroller.....	65
Die Flightcontroller-Software	72
RC-Fernsteueranlage.....	104

■ In diesem Kapitel erfahren Sie alles über die Bauteile eines Racecopters. Jedes Bauteil, vom Rahmen bis zum Motor, wird detailliert erklärt, und es wird darauf eingegangen, wie die Komponenten ausgewählt werden und zusammenpassen.



FPV-Racingrahmen Graupner 16563_Xcell.

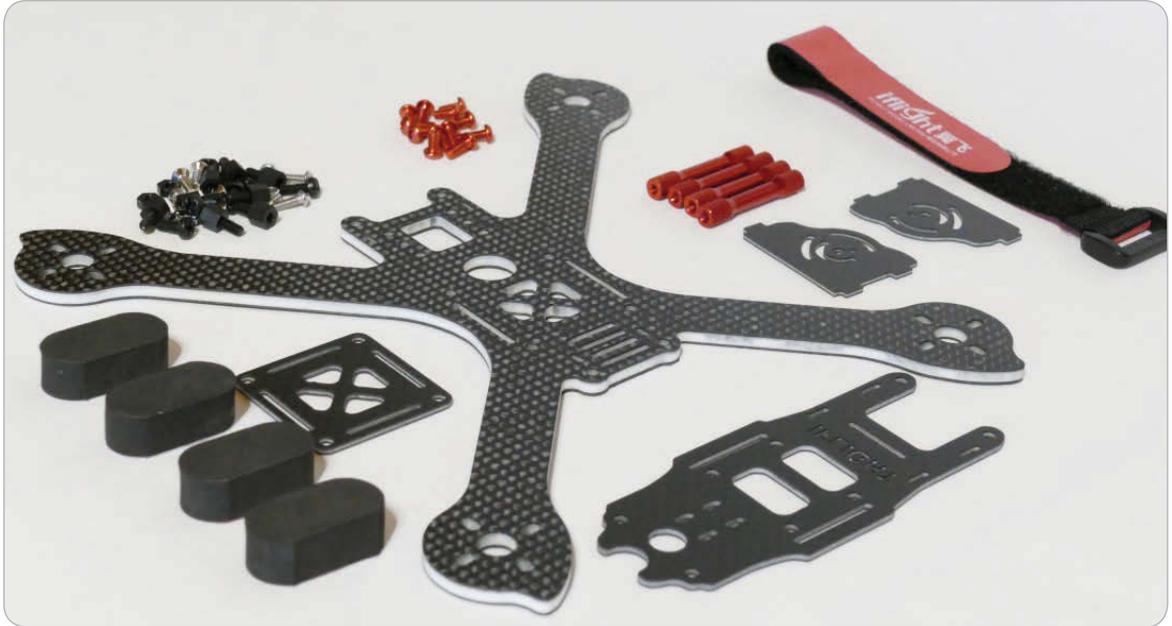
DER RAHMEN UND SEINE BESTANDTEILE

Der Rahmen eines Racecopters, auch mit dem englischen Wort »Frame« bezeichnet, ist ein wichtiges und nicht zu unterschätzendes Bauteil, das die gesamten Komponenten des pfeilschnellen Fluggeräts zusammenhält und durch eine geeignete aerodynamische Form seinen Teil zur Geschwindigkeit und Flugstabilität beiträgt.

Wie der Rahmen aufgebaut ist

Im Multicopterbau gibt es viele Möglichkeiten, wie solch ein Rahmen aufgebaut ist oder aus welchen Einzelkomponenten er bestehen kann. In der Regel besteht er bei größeren Multicoptern aus einem Mittelstück, der sogenannten Centerplate, den Armen, an deren Enden die Motoren sitzen (auch Ausleger genannt), und dem Landegestell. Je nachdem, wie groß die Motoren eines Multicopters sind, werden sie mit speziell dafür vorgesehenen Motorträgern an den Auslegern befestigt. Im Bereich der FPV-Racecopter wird in der Regel kein Rahmen verwendet, der aus verschiedenen Einzelteilen zusammengesetzt ist, stattdessen besteht er hier aus

einem Stück. So werden bei großen Belastungen während eines Rennens keine Schwachstellen (Schraubverbindungen etc.) erzeugt, und der Rahmen ist obendrein leichter.



Racingrahmen-Grundplatte iFlight iX5s aus einem Stück.

Das bedeutet aber nicht, dass für solche Rahmen keine Teile existierten, die angebaut werden könnten. Oft bestehen Racingrahmen tatsächlich aus der eigentlichen Grundplatte und zusätzlich aus Bauteilen, wie Befestigungsaufbauten und Abdeckplatten, die für die Montage weiterer Bauteile gedacht sind, wie Flightcontroller, Akku oder FPV-Kamera, die ebenfalls untergebracht werden müssen. Hierfür werden am Hauptrahmen kleine Aufbauten verschraubt, die zum einen die nötigen Elektronikbauteile an ihrem Ort fixieren, zum anderen bei einem durchaus möglichen Absturz die Komponenten etwas schützen.

Materialanforderungen an den Rahmen

Der Rahmen eines FPV-Racecopters muss während des Flugs großen Belastungen und G-Kräften standhalten. Aus diesem Grund bestehen die meisten hochwertigen Frames aus einem extrem leichten und hochstabilen Kohlenfaserverbundwerkstoff, auch CFK genannt.

CFK

Carbonfaserverstärkter Kunststoff (CKF) ist ein Allroundtalent. Er hat eine annähernd so hohe Zugfestigkeit wie Stahl, weist aber lediglich ein Fünftel der Dichte auf, ist also fünfmal leichter, und das ist enorm. CFK wird oft dort eingesetzt, wo sehr wenig Abfluggewicht gefordert ist, oder in sehr großen Multicopterkonstruktionen. Da dieses Material jedoch aufgrund der Herstellungstechnik und der Materialpreise sehr teuer ist, kann ein größerer Multicopterrahmen schon einmal deutlich über 1.000 Euro kosten. Racingrahmen bestehen fast ausschließlich aus CFK und kosten zwischen 30 und 100 Euro.



Frame aus Sandwich-Carbon.

Dieses Material vereint die spezifischen Eigenschaften, die generell in der Luftfahrt und der Flugzeugkonstruktion benötigt werden. Im Vergleich zu anderen Materialien besticht CFK durch hohe Stabilität bei gleichzeitig geringem Gewicht. Die Dichte eines Materials – auch als spezifische Dichte bezeichnet – gibt an, wie schwer ein Material bezogen auf ein bestimmtes Volumen ist. Die Zugfestigkeit bezeichnet die im Material maximal mögliche Spannung. Das Zug-E-Modul (Elastizitätsmodul) gibt die Steifigkeit des Materials an.

Rahmengröße und Einsatzzweck

Die Größe der Rahmenkonstruktion beeinflusst maßgeblich die späteren Flugeigenschaften einer Drohne. Eine Maßzahl dafür ist der sogenannte Achsenabstand. Er gibt die Entfernung von dem einen Motormittelpunkt (Motorwelle) bis zum gegenüberliegenden Motormittelpunkt an. Ist also die Rede von einem 40er-Rahmen, hat er einen Achsenabstand von 40 cm.

Grob gesagt, können wir feststellen: Je kleiner der Rahmen ist, desto sportlicher fallen die Flugeigenschaften aus, je größer der Rahmen ist, desto stabiler fliegt der Copter später. Dies gilt allerdings nur bis zu einer gewissen Größe, ab der der Copterrahmen so instabil wird, dass sich die Flugeigenschaften rapide verschlechtern. Kunstflugtaugliche und sportliche Drohnen haben einen Achsenabstand von ungefähr 10 bis 30 cm.

Gutmütige und anfängertaugliche Flugcharakteristika haben Copterrahmen mit einem Achsenabstand von 30 bis 60 cm. Wird eine größere Kameradrohne für ruhige und stabile Foto- und Filmaufnahmen benötigt, kann ein Rahmen von 60 bis 100 cm gewählt werden. Im Bereich des FPV-Racings werden überwiegend Rahmen mit einer Größe von zwischen 10 bis 30 cm eingesetzt. Dies hat zum einen mit den Flugeigenschaften solch eines kleinen Copters zu tun, zum anderen geben die Regularien der Renn-

veranstalter oder des Flugverbands FAI gewisse Rahmengrößen und Gewichtsgrenzen vor, die erfüllt werden müssen, um an einem FPV-Rennen teilnehmen zu dürfen.

Eine spezielle Eigenschaft einiger kleiner FPV-Rahmen besteht darin, dass sie ihr eigenes PDB (*Power Distribution Board*), also ihren Stromverteiler, im Rahmenboden integriert haben. Das bietet natürlich gerade bei sehr kleinen Rahmen den Vorteil, dass man alle Kabel direkt dort anschließen kann, wo sie benötigt werden, und nicht komplett über den Rahmen verlegen werden müssen. Manch ein Rahmen hat sogar direkt an den Auslegern Anschlüsse für Motoren und ESCs, sodass nicht einmal diese Bauteile nach innen verkabelt werden müssen. Nachteil dabei ist aber sicherlich, dass bei einem Absturz oder einem Riss in der Grundplatte die elektrischen Verbindungen getrennt werden und nicht mehr zu reparieren sind.

DIE MOTOREN

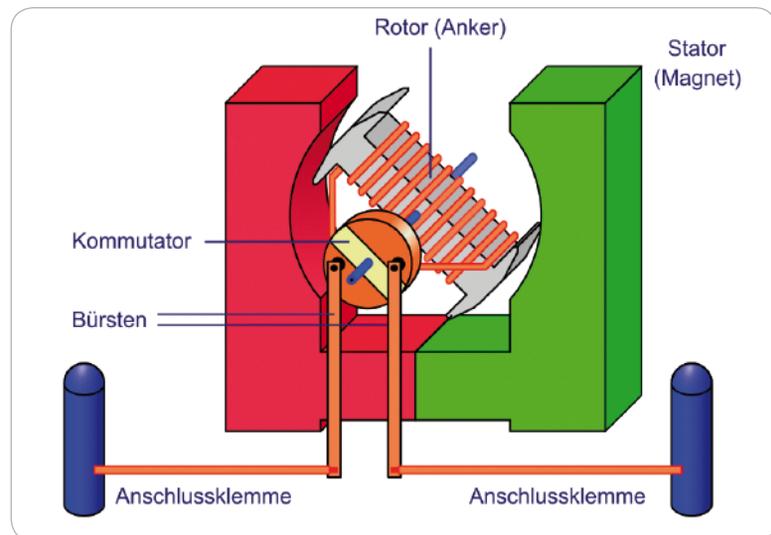
Die Motoren eines FPV-Racecopters sind neben dem Flightcontroller die wichtigsten Bauteile, die es auszuwählen und einzubauen gilt. Die Motoren des pfeilschnellen Copters wandeln die elektrische Leistung des Akkus in pure mechanische Bewegungsenergie um und sorgen dafür, dass das Fluggerät mit einer entsprechenden Luftschaube Geschwindigkeiten von bis 130 km/h erreichen kann. Um solche Geschwindigkeiten auch tatsächlich umsetzen zu können, wird zudem die richtige Luftschaube benötigt. Widmen wir uns zuerst den einzelnen Motoren.



Heute kommen im Flugmodellbau und besonders im Multicopterbau fast ausschließlich bürstenlose Motoren, die sogenannten Brushlessmotoren, zum Einsatz.

Gleichstrombürstenmotoren

Bis vor wenigen Jahren noch wurden im Flugmodellbau ausschließlich Bürstenmotoren eingesetzt. Sie kommen zwar heute immer noch in manchen Modellen zum Einsatz, haben aber gegenüber Brushlessmotoren einen großen Nachteil. Wie der Name schon sagt, besitzen Bürstenmotoren sogenannte Kohlebürsten (engl. Brush), die den Strom auf den sich drehenden Rotor übertragen. Der Motor besteht aus mehreren Bauteilen, die zusammenwirken, um eine Drehung zu erzeugen: aus einem stehenden Teil, dem Stator, und einem rotierenden Teil, dem Rotor. Außen am Stator befinden sich Permanentmagnete in abwechselnder Polung. Der Rotor besteht aus dem sogenannten Anker, der seinen Namen seiner Form verdankt, um den sich außen herum Kupferwicklungen (Spulen) befinden.



Wirkprinzip eines Bürstenmotors.

Fließt nun ein Strom durch die Spulen des Ankers, entsteht ein magnetisches Feld, das einen Nord- und einen Südpol hat. Die Ausrichtung der Pole orientiert sich immer an der Stromrichtung. Um eine Drehung des Rotors zu erzeugen, muss die magnetische Ausrichtung der stromdurchflossenen Kupferspulen immer genau so gerichtet werden, dass durch Abstoßen und Anziehen der Magnetfelder zwischen Rotor und Stator eine permanente Drehung erzeugt wird. Das Problem besteht darin, die Umpolung der Kupferspulen zu gewährleisten.