

Quadrokoopter

Das Kompendium für Flieger und Bastler

Fliegen lernen

Flugübungen Schritt für Schritt meistern
Steuern per Live-Video
So gelingen Aufnahmen von oben
Was darf ich mit meinem Kopter?



Modell-Schau

15 Quadrokoopter von billig bis Luxus
10 Fernsteuerungen

Einfach selber bauen

Verstehen, konfigurieren, erweitern
2 Bauanleitungen mit Stücklisten

Gutschein für Bausatz im Heft

c't-Kopter

Nur 189 Euro (23% gespart)

GNADENLOS DURCHLEUCHTET.

THEMEN UND TESTS MIT LEIDENSCHAFT.



6x
c't PLUS
FÜR 19,80 €

JETZT c't-PLUSABO

3 MONATE KENNENLERNEN:

- 6 x c't als **HEFT + DIGITAL** + Online-Zugriff auf das **ARTIKEL-ARCHIV** für nur 19,80 €
- Optimiert für Android (Tablet, Smartphone, Kindle Fire) und iOS (iPad, iPhone)
- **Kein Risiko:** Nach Ablauf der Testphase jederzeit zur nächstmöglichen Ausgabe kündbar

IHR GESCHENK: QUADROCOPTER

Für Ihre Testbestellung bedanken wir uns mit dem **Quadrocopter XciteRC Rocket 65XS** – auch für Einsteiger geeignet.



Sie sind bereits Abonnent und möchten für 18,20 € auf das Plus-Abo umsteigen? Unser Leserservice hilft Ihnen gern beim Wechsel – mit Quadrocopter als Dankeschön.

ct.de/plusabo

040/3007 35 25

leserservice@heise.de

Bitte bei Bestellung angeben: CTP14107

Folgen Sie uns auf:   

Editorial

Liebe Leserinnen und Leser,

Quadrokopter sind so ausgereift, zuverlässig und einfach zu bedienen, dass ein regelrechter Massenmarkt entstanden ist. Fertige Quadrokopter mit passender Fernbedienung gibt es schon günstig im Elektronik-Markt um die Ecke zu kaufen: auspacken, einschalten, losfliegen.

Die Krönung ist der Live-Videoflug mit Kamera und Videobrille. Einem Vogel gleich kann man seine Bahnen durch die Lüfte ziehen. Was man dafür benötigt, erklärt unser First-Person-View-Leitfaden. Und damit Sie in allen Lagen immer die Kontrolle behalten, liefert ein Flugschul-Artikel eine Anleitung für die ersten Übungsstunden.

Unser Kompendium dient Ihnen auch als Orientierungshilfe bei der Auswahl des richtigen Modells und der Komponenten. Wir erklären, welche Funktionen es gibt und wofür man sie benötigt. Wer sich sein Modell lieber selbst zusammenbauen möchte, findet in den Grundlagenartikeln einen Leitfaden zur Auswahl der Komponenten, wie man sie verbindet und konfiguriert. In unserem günstigen c't-Kopter-Bausatz haben wir alles Notwendige schon mal für Sie zusammengestellt. Bei der Wahl einer individuellen Fernbedienung unterstützt Sie unsere Marktübersicht.

Damit steht dem ersten Take-off nichts mehr im Wege!

Guten Flug wünscht



Daniel Bachfeld

Inhalt

GRUNDLAGEN

Wie funktioniert ein Kopter? Auf welche Komponenten muss man besonders achten? Und wie fliegt man mit Hilfe der Kamera?

- 6 Quadrokooper-Know-how
- 26 Fliegen mit Live-Videoübertragung

MARKTÜBERSICHT

Wir geben einen Überblick über das Angebot an Quadrokooperen und Fernbedienungen und helfen bei der Auswahl.

- 38 Fertigmodelle von billig bis Luxus
- 48 Fernsteuerungen für jeden Geldbeutel

FLIEGEN

Unsere Flugschule: Wir begleiten Sie durch die rechtlichen Aspekte und erklären Ihnen, wie man den Kopter steuert und mit der Kamera aufnimmt.

- 56 Rechtsfragen zu Multikooperflügen
- 62 Flugschule für Einsteiger
- 66 Gut gerüstet für den Kameraflug
- 72 Unwuchten beseitigen

SELBSTBAU

Ein selbst gebauter Kopter ist kein Hexenwerk. Unsere Schritt-für-Schritt-Anleitungen zeigen Ihnen, wie man dabei vorgeht.

- 76 Bauanleitung 1: Der individuelle Quadrokooper
- 86 Bauanleitung 2: Leistungsstarker Kamerakooper
- 92 Regelung konfigurieren
- 96 Multikooper erweitern

ZUM HEFT

- 3 Editorial
- 104 Aktionen: c't-Kopter und Video-Software
- 106 Impressum
- 106 Inserentenverzeichnis

Gutschein für Bausatz im Heft
c't-Kopter
Nur 189 Euro (23% gespart)



Quadrokooper-Know-how

Quadrokooper sind faszinierende Fluggeräte, in denen modernste Technik eingebaut ist. Wir erklären Komponente für Komponente, wie ein Quadrokooper funktioniert und was ihn in der Luft hält.

Von **Daniel Bachfeld**

Wenn man sich das erste Mal mit dem faszinierenden Thema Quadrokooper beschäftigt, stößt man auf viele neue Begriffe, Techniken und Zusammenhänge, die man sich erst aneignen muss. Und wie das meist beim Einarbeiten in neue Gebiete so ist, kommt man schnell von Hölzchen auf Stöckchen und verliert sich im Dickicht interessanter, aber oft nicht immer so wichtiger Feinheiten. Wir haben die wichtigsten Informationen zusammengetragen, die zum Verständnis der Funktion aller Komponenten sowie ihres Zusammenspiels wichtig sind.

Die Lektüre dieses Artikels bereitet Sie auf die Auswahl eines geeigneten Fertigmodells (siehe Seite 38) oder Bausatzes vor und liefert die notwendigen Entscheidungshilfen für die Zusammenstellung eines individuellen Quadrokoopers wie den rechts abgebildeten, dessen Bau wir ab Seite 76 beschreiben.

Das ist jedoch nur der erste Schritt, danach heißt es raus aufs Feld und üben, üben, üben. Denn selbst wenn Quadrokooper sich stabil in der Horizontalen halten können, muss man einiges Geschick aufbringen, um sie auch auf konstanter Höhe und Position zu halten. Auf diverse Rück- und Einschläge sollte man sich schon mal einstellen.

Mit PC-Simulatoren kann man zusätzlich noch auf dem Trockenen üben. Unsere Tipps zum Fliegen finden Sie ab Seite 62.

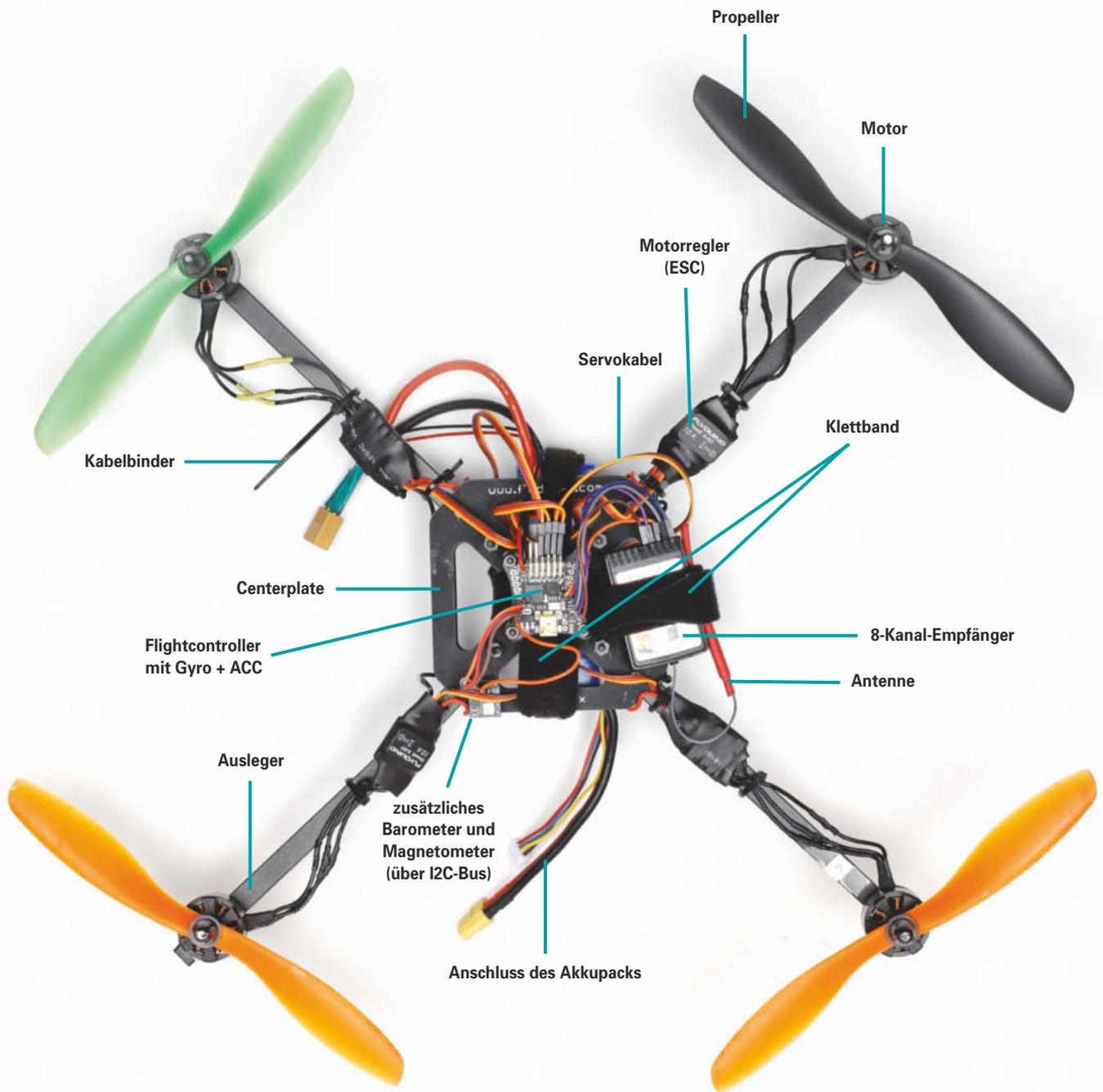
Vor dem ersten Aufstieg des Quadrokoopers sollte man unbedingt eine zusätzliche Haftpflichtversicherung für Flugmodelle abschließen – die normale Haftpflicht deckt solche Schäden nur selten ab. Das „vor“ sollte man nicht auf die leichte Schulter nehmen: Die „Wird schon nichts passieren“-Haltung bei den ersten Flugversuchen des Autoren änderte sich jäh, als sich der Quadrokooper von einer Windböe irritiert (oder wars der Pilot?) aus fünf Meter Höhe auf Nachbars Auto stürzen wollte. Glücklicherweise stand Sohnmanns Fahrrad im Weg und verhinderte vermutlich teure Schäden an Karosserie und Lack.

Für Einsteiger bietet sich die Haftpflichtversicherung der Deutschen Modellsport Organisation (DMO) für 40 Euro im Jahr an (siehe Link). Sie deckt bis zu 1,5 Millionen Euro Schaden ab. Alternativ kann man auch Mitglied eines Modellfliegervereins direkt im Deutschen Modellflieger Verband (DMFV) werden und eine Zusatzversicherung abschließen.

Ab Seite 56 erklären wir die wesentlichen rechtlichen Rahmenbedingungen, die den normalen, privaten Piloten in der Praxis tangieren könnten.

- s. 8 Grundsätzliches
- s. 10 Rahmen
- s. 12 Flightcontroller
- s. 14 Brushless-Motoren
- s. 16 Propeller
- s. 18 Electronic Speed Controller (EPC)
- s. 20 Lageregelung
- s. 22 Akku
- s. 24 Fernsteuerung
- s. 26 Kameraflug

Alle Links zum Artikel
www.ct.de/hb1403006



Den Aufbau dieses Quadkopters erklären wir Schritt für Schritt ab Seite 76.

Grundsätzliches

Der Begriff Multikopter bezeichnet einen Hub-schrauber mit mehr als einer Luftschraube respektive Propeller. Grundsätzlich gehören hierzu auch Kopter mit nur zwei Propellern, in der Praxis zählt man aber eigentlich erst Fluggeräte ab drei dazu. Je mehr Luftschrauben ein Multikopter hat, desto mehr Schubkraft kann er entwickeln und umso mehr Gewicht kann er tragen. Im Folgenden beziehen sich die Erklärungen auf Quadrokopter, also auf vier Antriebe.

Beim Quadrokopter sind die Motoren immer über Kreuz angeordnet, je nach Drehung kann das ein x oder ein + sein. Manche Quadrokopter haben auch eine H-Form. Handelsübliche Flugregler unterstützen verschiedene Konfigurationen und zumeist auch Antriebszahlen von drei bis acht Motoren.

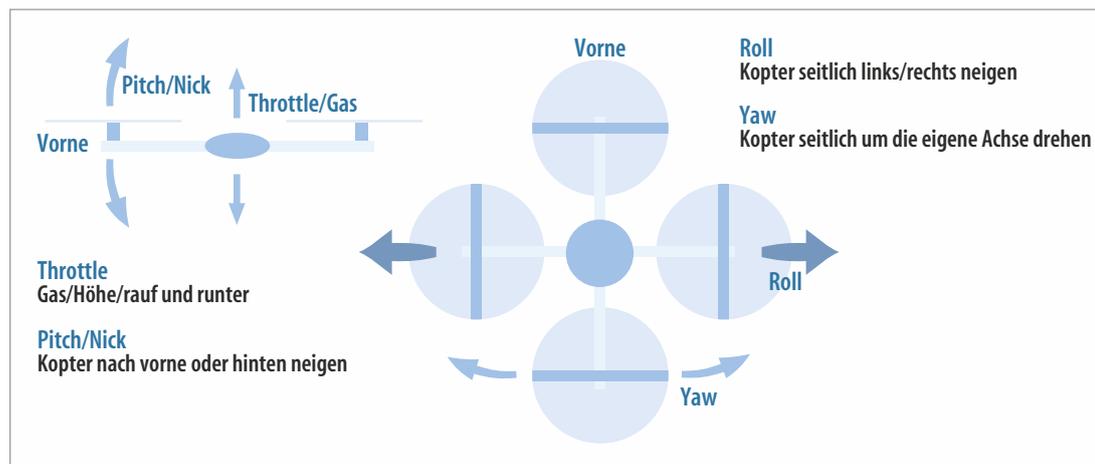
Da sich beim Quadrokopter je zwei Propeller im Uhrzeigersinn und zwei entgegengesetzt drehen, heben sich praktischerweise die auf das Traggestell übertragenen Drehmomente bei gleicher Drehzahl auf. Anders als beim Helikopter muss kein Heckrotor einer Rotation um die Hochachse (Gierachse, Yaw) entgegenwirken. Soll sich der Quadrokopter doch um seine Hochachse drehen, genügt es, die links- und rechtsdrehenden Propeller mit unterschiedlicher Drehzahl anzusteuern. Damit er dabei nicht an Höhe verliert, darf nicht einfach nur ein Propellerpaar langsamer drehen, sondern das andere muss sich zugleich proportional schneller drehen.

Bei der +Konfiguration muss man für die Drehung um die Längs- (Roll) oder Querachse (Nick/Pitch) nur die Drehzahlen eines Motorenpaars ändern. Eine X- oder H-Konfiguration erfordert immer die Änderungen der Drehzahlen aller Motoren, erlaubt aber höhere Drehbeschleunigungen für Kunstflüge. Bei Drehungen um die Längs- oder Querachse ändert man die Drehzahl der auf der gegenüberliegenden Achse liegenden Motoren. Auch hier muss man das Gieren durch entsprechende Anpassungen aller Drehzahlen verhindern. Soll der Quadrokopter nach vorne fliegen, muss er beispielsweise bei x-Konfiguration die Drehzahlen der beiden hinteren Propeller erhöhen und die der vorderen verringern. Bei +Konfiguration müsste der Kopter jeweils nur die Drehzahl zweier Motoren ändern.

Die wichtigsten Elemente eines Quadrokopters sind im Bild auf der vorhergehenden Seite zu sehen.

Mehr als vier?

Als Einstieg in die Fliegerei mit Multikoptern reichen Quadrokopter vollkommen aus. Bei Ausfall eines Motors oder eines Reglers stürzt das Modell jedoch sang- und klanglos ab. Modelle mit sechs (Hexakopter) und mit acht Antrieben (Oktokopter) bieten naturgemäß Redundanzen, um den Ausfall eines Motors zu kompensieren. Das dient nicht nur dem Schutz des Quadrokopters selbst, sondern auch der Sicherheit der Nutzlast – etwa einer DSLR-Kamera.





Hingucker: Ein Tri-Koax kann nicht nur ordentlich Lasten heben. Er setzt sich sogar optisch von der Masse der Multikopter ab.

Zusätzlich liefern mehr Motoren auch mehr Schub, um überhaupt größere Kameras anheben zu können. Mitunter reicht dann auch bereits der Hexakopter nicht mehr aus, um Motorausfälle mit fünf Motoren auszubügeln. Gerade im professionellen Bereich fliegen viele Piloten respektive Fotografen deshalb mit Oktokoptern – sicher ist sicher.

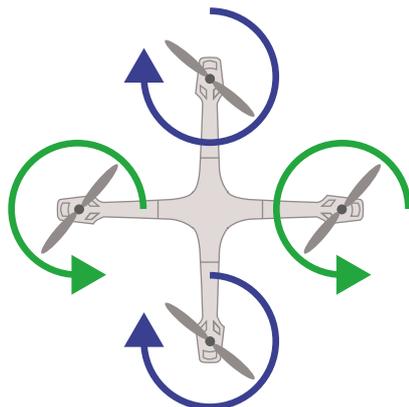
Allerdings steigt der Preis durch die zusätzlichen Komponenten. Auch der Stromverbrauch nimmt zu, den man bei gleicher geplanter Flugzeit durch einen größeren Akku mit mehr Kapazität oder zusätzliche Akkus ausgleichen muss. Damit steigt andererseits wieder das Gewicht.

Im Vergleich zu Quadrokoptern haben Hexa- und Oktokopter ruhigere Flugeigenschaften, da die Drehzahlunterschiede der Motoren zur Lageregelung besser verteilt werden. Bei der Rahmen-Geometrie eines Hexakopters kann man in Anlehnung

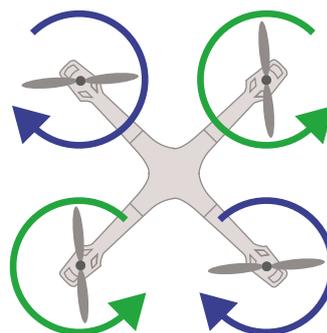
an die x- und +-Konfiguration von Quadrokoptern wählen. Bei der +-Konfiguration steht jeweils ein Motor vorne und hinten. Bei Oktokoptern gilt dies analog für die acht symmetrisch angeordneten Ausleger.

Bei sogenannten Koaxkoptern (gleichachsig) ist an jedem Auslegerende ein Motor oben und ein Motor unten montiert. Damit spart man sich zusätzliche Ausleger und somit Gewicht. Beim Hexakopter reichen drei Ausleger; solche Modelle nennt man in Anlehnung an Trikoopter dann Tri-Koax. Ähnlich ist es beim Quad-Koax (X8) mit acht Motoren.

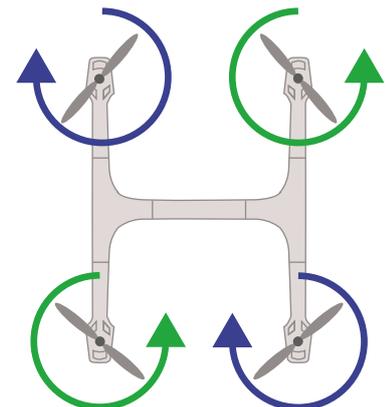
Moderne Flightcontroller unterstützen in der Regel mehrere Multikopter von drei Motoren bis acht Motoren in verschiedenen Kombinationen. Eine spezielle Konfiguration ist nicht nötig. Auch die Steuerung mit den Knüppeln der Fernsteuerung funktioniert wie beim Quadrokopter.



+Konfiguration



X-Konfiguration



H-Konfiguration

Die Ausrichtung des Quadkopters lässt sich im Flightcontroller konfigurieren.

Rahmen

Der Aufbau eines Quadropters ist im Wesentlichen immer der Gleiche: vier über Kreuz angeordnete Motoren und in der Mitte der Flightcontroller. Daneben platziert man den Fernsteuerempfänger und darunter den Akku. In der Regel konstruiert man das Kreuz über eine sogenannte Centerplate, an die vier Ausleger montiert sind. Je kürzer die Ausleger, desto sportlicher fliegt sich der Kopter. Längere Ausleger verringern die Wendigkeit, erhöhen jedoch die Flugstabilität. Bevor man sich für einen Rahmen entscheidet, sollte man überlegen, ob man eher Kunststücke mit dem Gerät fliegen oder ihn als Schwebplattform für Kameraflüge einsetzen will. Quadropters für Kunstflüge in Hallen haben etwa 20 Zentimeter Spannweite, große Kamerakopter beispielsweise 80 Zentimeter. Für Anfänger sollte die Spannweite zwischen 40 und 60 Zentimetern liegen.

Die Anforderungen an den Rahmen sind ähnlich wie im Flugzeugbau: Leicht, verwindungssteif und leicht zu bearbeiten soll er sein. Auf der anderen Seite sollte er günstig sein, um bei Crashes nicht jedes Mal teure Ersatzteile kaufen zu müssen. Zur Wahl stehen etwa Ausleger aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK) oder aus Alu-Vierkantrohr. Alu-Vierkantrohre (10 bis 15 mm, 1 mm Dicke) haben den Vorteil, dass man sie im Baumarkt kaufen und recht einfach selbst bearbeiten kann. Dafür halten sie nicht so lange wie solche aus CFK. Holz hingegen ist eher ungeeignet. Rahmen aus normalem Kunststoff lassen sich nur dann einsetzen, wenn sie zur Stabilitätssteigerung zahlreiche Verstrebungen aufweisen. Nur dann biegen und verwinden sie sich unter den Belastungen nicht.

Die Centerplate muss extrem stabil sein, da sie die vier Ausleger tragen muss. Die Hebelkräfte können dabei sehr groß werden. Als Material ist deshalb ebenfalls CFK oder glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK) zu empfehlen. Die Centerplate muss zudem Montagemöglichkeiten für die Elektronik bieten. Praktischerweise sollte eine Centerplate gleich noch Leitungen für die Stromverteilung zu den Motoren mitbringen. Der Rahmen von Warthox bietet beispielsweise diese Möglichkeit, sodass man sich eine separate Stromverteilung sparen kann.

Wo man die Motoren montiert, ist ebenfalls eine Überlegung wert. Sind sie am äußersten Ende der Ausleger montiert, müssen sie einen möglichen Ab-



sturz abfangen. Sind sie vom Ende zur Mitte gerückt, liegt je nach Aufprallwinkel die Wahrscheinlichkeit höher, dass nur der Rahmen statt der teuren Motoren getroffen wird.

Besitzer eines 3D-Druckers können auf diverse Modelle auf Thingiverse zurückgreifen und sich den Rahmen daheim ausdrucken. Das Projekt „Drone it yourself“ bietet 3D-Modelle von Motorhalterungen an, die wie die Klemmen von Schreibtischlampen aussehen. Damit lassen sich die Motoren im Prinzip an jedes beliebige Objekt klemmen, das dann als Frame fungiert, beispielsweise das Laufrad eines Fahrrads, ein Schwimmbrett oder eine Tastatur.

Damit der Frame bei Start und Landung nicht auf dem Boden rumkratzt, stattet man ihn mit Landefüßen aus. Je näher diese an der Mitte stehen, desto leichter kippt der Kopter bei nicht so sachten Landungen um. Anfänger sollten deshalb die Füße so weit wie möglich von der Mitte montieren, sofern das möglich ist. Statt Landefüße haben wir bei unserem Modell Isolierrohre aus dem Baumarkt mit Kabelbindern unter den Auslegern befestigt. Die elastischen Rohre konnten zumindest leichte Bruchlandungen gut abfedern.

Mit den anklemmbaren Motoren von „Drone it yourself“ kann man jedes Objekt als Frame benutzen.

Erst lesen, dann löten!

4x c't Hacks für nur 35,20 € lesen und 10 % sparen.

10% sparen gegen-
über Einzelheftkauf

versandkostenfrei

inkl. Online-Archiv

mobil fürs iPad

**Gratis
zum Abo!**



sugru (8 Minipacks mit je 5 Gramm)
sugru ist der aufregende neue selbsthärtende Silikongummi.
Formbar wie Knete, haftet an fast allem und verwandelt sich
über Nacht in einen starken, flexiblen Silikongummi.
Mehr Infos und Anwendungsbeispiele unter: www.sugru.com

Jetzt schnell
bestellen unter:



040 3007 3525

(Mo.-Fr. 8-19 Uhr, Sa. 10-14 Uhr) Bitte Bestellcode CHP14101 angeben!



www.ct-hacks.de/geschenk

Hier finden Sie weitere interessante Angebote von c't Hacks.



E-Mail: ct.de@hacks-abo.de

Bei Bestellung folgendes mit angeben: Ihren Namen, Adresse, Telefonnummer, Bestellcode CHP14101.

