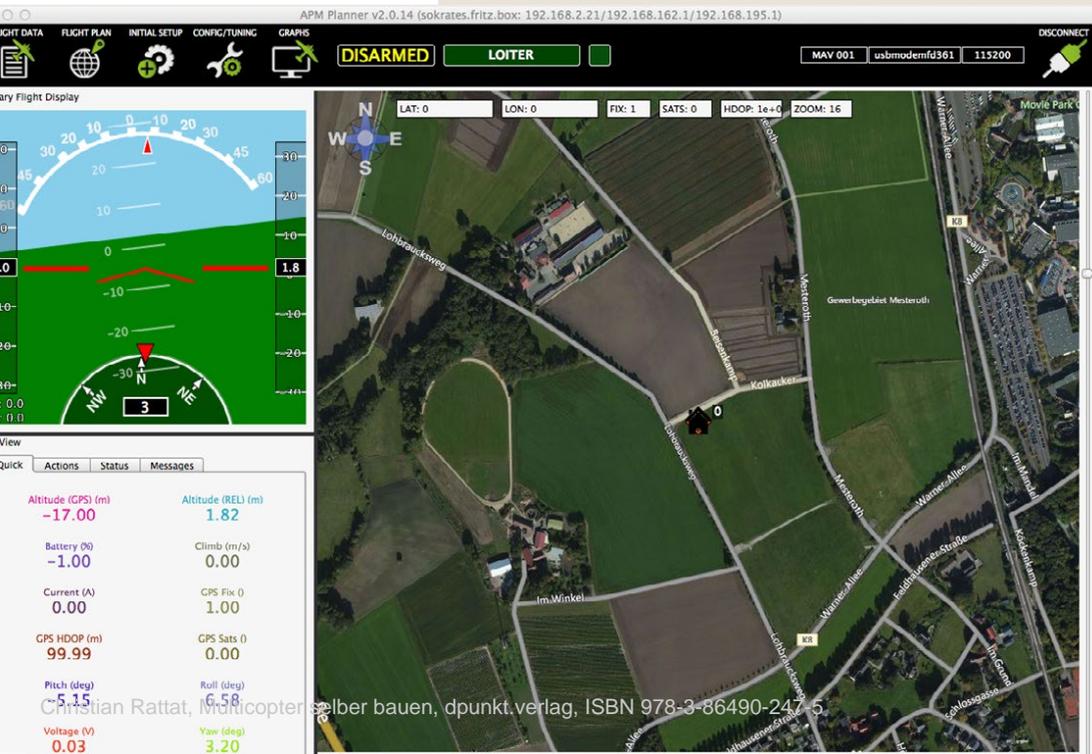


5 Flugsteuerungen

Der Kern jedes Multicopters ist die Flugsteuerung. Diese setzt die Steuersignale der Fernsteuerung in verwertbare Signale für die Motoren um. Die Fernsteuerung liefert Signale für Seitenruder, Höhenruder und Querruder. Diese werden Sie an einem Multicopter aber nicht finden, denn sie stammen aus dem Flugzeugbereich. Aufgabe der Flugsteuerung ist es daher, die Bewegung des Multicopters äquivalent umzusetzen.



Die Querruder beim Flugzeug sorgen für das Rollen. Beim Multicopter wird das durch das Anheben der linken oder rechten Seite erreicht. Das Höhenruder zum Steigen oder Sinken ersetzt beim Multicopter das Heben der vorderen oder hinteren Motoren. Und das Drehen um die Hochachse, das bei einem Flugzeug mit dem Seitenruder gesteuert wird, kann beim Multicopter nur durch unterschiedliche Drehzahlen der Propeller erreicht werden. Diese Umsetzung ist zum Fliegen bereits ausreichend, aber von einem Menschen ohne Unterstützung der Flugsteuerung nicht beherrschbar.

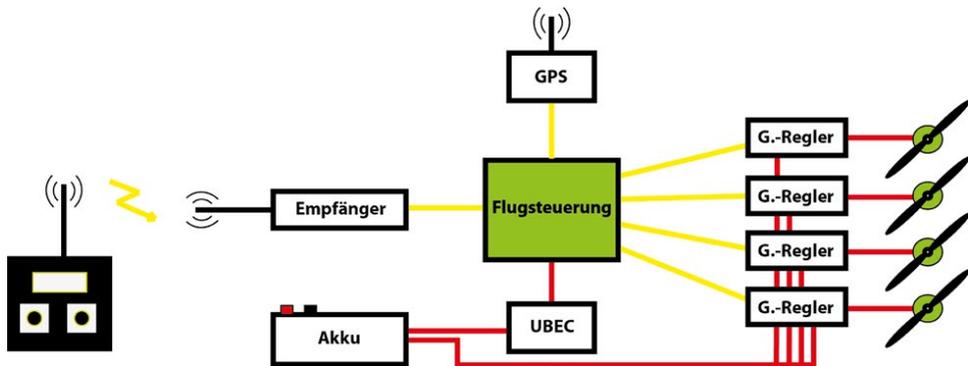


Abb. 5–1 Schema einer Multicoptersteuerung

Flugsteuerungen gibt es zwar nicht wie Sand am Meer, aber es existieren schon einige verschiedene und davon wiederum einige Varianten. Die Auswahl der Flugsteuerung ist vor allem eine Frage der Anwendung und der benötigten Flugeigenschaften. Erst danach kann die Frage nach den Kosten gestellt werden.



Abb. 5–2 Flugsteuerungen: Ardupilot, MultiWii SE V2.5, MultiWii Flip, Naza-M V2, Naza-M V1

Dieses Buch bezieht sich hauptsächlich auf die DJI-Naza- und MultiWii-Flugsteuerungen. Eine Variante des Video-Quadrocopters aus den Bauprojekten mit einer Ardupilot-Mega-Steuerung (APM-Steuerung) ist aktuell in Arbeit.

Flugsteuerung	Preis	Höhe halten	Position halten	Fluglagestabilisierung	Notlandemodus
Ardupilot Mega	Günstig	Ja	Ja	Ja	Ja
Pixhawk PX4	Mittel	Ja	Ja	Ja	Ja
DJI Naza Lite	Günstig	Ja	Ja	Ja	Ja
DJI Naza-M V2	Mittel	Ja	Ja	Ja	Ja
DJI A2	Teuer	Ja	Ja	Ja	Ja
Hobbyking KK 2.0	Günstig	Nein	Nein	Ja	Nein
MultiWii	Günstig	Ja	Ja	Ja	Ja
Naze32	Günstig	Ja	Ja	Ja	Ja

Tab. 5-1 Übersicht zu gängigen Flugsteuerungen

5.1 Flugstabilisierung

Einfacher wird es, wenn die Flugsteuerung auch Aufgaben zur Stabilisierung der Fluglage übernimmt. Im einfachsten Fall verhindert sie ein Wegkippen des Multicopters. So muss der Pilot nur noch dafür sorgen, dass die Höhe und Position stimmt. Das ist bereits für Anfänger mit ein wenig Üben schnell erreichbar.

Damit die Flugsteuerung überhaupt ein Wegkippen erkennen kann, benötigt sie einen Sensor, der das misst. Dazu wird ein Gyroskop verwendet, das im Prinzip wie ein Kreisel funktioniert. Durch die Rotation bleibt der Kreisel in seiner Lage. Diese Eigenschaft nennt sich Drehimpulserhaltung. Diese ermöglicht zum Beispiel, dass ein sich drehender Kreisel auch schräg stehen kann.

Um die Richtung der Rotationsachse bei einem Kreisel zu verändern, muss eine Kraft aufgebracht werden, die mit einem Gyroskop bei einem Multicopter gemessen werden kann. Aus den Messwerten lässt sich die Richtung und Geschwindigkeit der Bewegung ableiten. Werden statt eines Kreisels gleich mehrere verwendet und diese in verschiedenen Raumachsen angeordnet, kann so jede Drehbewegung erfasst werden.

Die Flugsteuerung kann nun prüfen, ob der Pilot gerade ein Signal zum Rollen gibt. Ist das nicht der Fall und kippt der Multicopter beispielsweise wegen einer Windböe seitlich weg, weiß die Flugsteuerung, dass sie diese Lageänderung korrigieren muss. Genau dasselbe passiert auch in die anderen Richtungen. Was vor noch nicht allzu langer Zeit in großem Maßstab mit Motoren und Kreiseln gebaut werden musste, gibt es heute in wenigen Millimeter kleinen integrierten

Schaltungen. Die Technik dazu nennt sich MEMS (Micro-Electro-Mechanical System).

Was ein Gyroskop nicht messen kann, ist die Flughöhe. Trotz Stabilisierung der Fluglage muss der Pilot ohne weitere Maßnahmen immer noch für eine manuelle Kontrolle der Flughöhe sorgen. Aber auch das kann die Flugsteuerung übernehmen, zum Beispiel mit einem Barometer. Als Referenz wird der aktuelle Luftdruck verwendet. Ändert sich der Luftdruck, ohne dass der Pilot das Kommando für Steigen oder Sinken gegeben hat, korrigiert die Flugsteuerung die Höhe, bis der ursprüngliche Luftdruck wieder erreicht ist. Rein mit Luftdruckmessung ist das aber auch so eine Sache. Eine ungünstige Windböe lässt den Luftdruck unter Umständen auch steigen oder fallen. Deshalb ist die Höhenstabilisierung ein wenig ungenauer als die Lagestabilisierung.

Ein weiterer Sensor, der Magnetometer, kommt zum Einsatz, um die Flugrichtung zu korrigieren. Ein Magnetometer kann das magnetische Feld der Erde messen und zwar so präzise, dass er als Kompass genutzt werden kann. Damit kann die Flugsteuerung auch noch erkennen, ob der Multicopter giert, und auch hier wieder gegensteuern, wenn sich die Richtung unerwartet ändert.

Damit sind die wichtigsten Sensoren und Flugkorrekturmöglichkeiten der Flugsteuerung erklärt. Wem auch das noch nicht reicht, der kann der Flugsteuerung auch noch die Positionskontrolle überlassen. Die Position kann aber weder mit dem Gyroskop noch mit dem Barometer gemessen werden. Das geht nur mithilfe von Beschleunigungsmessern. Diese können in mehrachsiger Ausführung die Beschleunigungen in jede Richtung separat messen. Steht der Multicopter ruhig in der Luft, sind die Beschleunigungen alle null. Bewegt sich der Multicopter in eine Richtung, wird er beschleunigt und die Flugsteuerung kann entgegensteuern. Aus Dauer und Kraft der Beschleunigung kann prinzipiell auch die Geschwindigkeit ermittelt werden (Trägheitsnavigation). Aber es ist so kaum möglich, den Multicopter wirklich auf einem Fleck zu halten, weil die Sensoren dazu nicht genau genug sind.

Wer eine absolute Positionskontrolle will, der muss eine Flugsteuerung mit GPS-Unterstützung verwenden. Diese hat eine GPS-Antenne und kann damit genau wie Ihr Kfz oder Handy metergenau navigieren. Und nicht nur das, das GPS-System liefert auch absolute Höhenangaben. Teilweise gibt es hier aber Schwankungen, sodass ein manueller Eingriff in die Steuerung jederzeit erfolgen können muss.

Mit einer Flugsteuerung mit gutem GPS-Empfänger kann ein Multicopter an eine beliebige Stelle in die Luft gestellt werden und dort verbleibt. Das funktioniert selbst bei ordentlichen Winden, sofern ausreichend Schub zur Verfügung steht.

DOF

Gelegentlich werden Sie auf Begriffe wie 6 DOF oder 10 DOF im Zusammenhang mit Flugsteuerungen treffen. DOF ist eine Abkürzung für Degrees-Of-Freedom, im Deutschen Freiheitsgrade. Damit ist die Anzahl der Sensoren gemeint, die der Flugsteuerung Informationen liefern. Ein 3-Achsen-Gyroskop gibt der Flugsteuerung drei Freiheitsgrade. Zusammen mit einem 3-Achsen-Beschleunigungsmesser sind das bereits 6 DOF. Je mehr Sensoren eine Flugsteuerung hat, desto mehr Aufgaben kann diese übernehmen.

5.1.1 Steuerungsparameter

Flugsteuerungen für Multicopter sind klassische Anwendungen der Mess- und Regeltechnik. Sie nehmen Messwerte auf und vergleichen diese mit Sollzuständen. Ist ein Sollzustand nicht erreicht, werden die Propeller so gesteuert, dass der Sollzustand erreicht wird. Das ist kein einmaliger Prozess, sondern er wird kontinuierlich durchgeführt. Messen, Steuern, Messen, Steuern und bei jeder neuen Runde wird der perfekte Zustand weiter angenähert. Es sei denn, ein Windstoß macht alles zunichte und die Steuerung beginnt wieder von vorne.

Das Annähern an den Sollzustand kann durch die Flugsteuerung nun ganz vorsichtig erfolgen oder aber auch durch aggressives Gegensteuern. Ist sie dabei zu vorsichtig, kommt sie dem Sollzustand nicht näher, sondern entfernt sich vielleicht sogar davon. Als Ergebnis wird der Multicopter irgendwann abstürzen. Ist die Steuerung zu stark, wird der Sollzustand so schnell überschritten, dass sofort wieder gegengesteuert werden muss. Auch hier kann es zum Absturz kommen. Oder aber der Multicopter schaukelt sich auf. Der Sollzustand wird dabei überschritten und die nächste Messung bewirkt ein Gegensteuern, das auch wieder zu stark ausfällt und wieder ein Überschreiten des Sollzustands bewirkt, diesmal aber in die Gegenrichtung. Das schwingt sich dann entweder mit einem bestimmten Rhythmus ein, oder es kommt zum Absturz.

Die Steuerung erfolgt hier nach einem Verfahren, das sich Proportional-Integral-Differenzial-Steuerung oder kurz PID-Steuerung nennt. Die PID-Steuerung ist eine Standardanwendung der Mess- und Regeltechnik. Elektrotechnisch und mathematisch ist eine PID-Steuerung extrem kompliziert und definitiv nichts, womit sich der Modellflieger auseinandersetzen möchte.

Das muss er aber leider, glücklicherweise aber nicht im Detail, und er muss vor allem keine Differenzialgleichungen lösen, die bei PID-Reglern unumgänglich sind. Die PID-Regler sind nicht nur reaktiv, wie oben im Beispiel beschrieben. Sie machen auch Prognosen für das Verhalten in der Zukunft und beziehen das in die Regelung mit ein.