

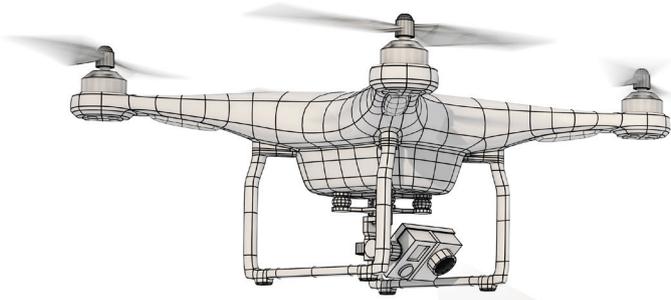
**dataTec**

Mess- und Prüftechnik. Die Experten.



# Drohnen.

Technologie mit gesellschaftlichem  
Nutzen.



**Drohnen sind längst nicht mehr nur Spielzeug, sondern haben einen erheblichen Nutzen in der Gesellschaft wie z. B. Auffinden und Schutz von Rehkitzen in der Wiese, bevor die Mäharbeiten beginnen, Überprüfung von Wäldern nach entstehenden Feuern, Waldschadensfeststellungen, Verbrechensbekämpfung, Personensuche, medizinischer Hilfsmitteltransport in unwegsames Gelände. Und nicht zu vergessen: militärische Anwendungen. Die handlichen Fluggeräte sind je nach Aufgabenbestimmung unterschiedlich ausgerüstet.**

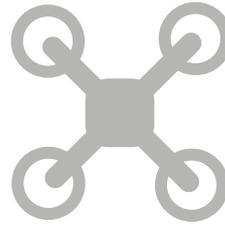
## Die grundlegenden Komponenten für alle Drohnen sind:

1. Frame / Rahmen / Fluggestell
2. Motor, Propeller und Energieversorgung
3. Motorsteuerung
4. Flight Control
5. GPS-Technik
6. Nutzlast z. B.: Wärmebildkamera, Pakethalterungen
7. Fernsteuerung und Receiver-Modul

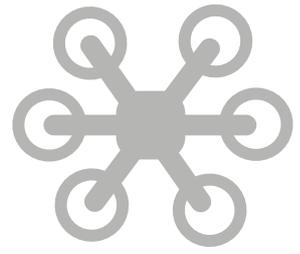
Die Komponenten 1 bis 7 sind heute standardisiert und können für viele Anwendungen aus einem Baukastensystem zusammengestellt werden. Es beginnt mit dem s.g. Frame, dem Gestell, das die Anzahl der Arme bestimmt und damit die Traglast, die eine Drohne befördern kann. Es gibt einen Trade-off, zwischen dem Komplettgewicht des Fluggerätes, bestehend aus dem Eigengewicht des Copters, der Nutzlast und dem Hub, der durch die Rotation der Propeller aufgebracht werden muss. Dabei spielen die Drehzahl und die Form der Propeller eine entscheidende Rolle.

# 1 Frame / Rahmen.

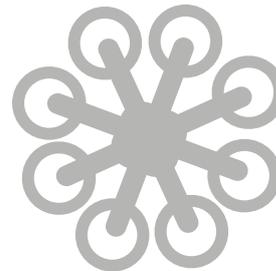
Der Rahmen bestimmt das äußere Erscheinungsbild des Copters. Prinzipiell werden die Copter nach der Anzahl der Arme, die jeweils einen Motor tragen, bezeichnet. Es gibt Quadcopter mit vier Armen, Hexacopter mit sechs Armen und Oktocopter mit acht Armen (Siehe Abbildung auf der nächsten Seite). Dabei ist wichtig, dass einerseits das Gewicht des Copters möglichst gering, andererseits eine entsprechende Stabilität des Frames gegeben ist. Aus diesen Gründen sind die Rahmen meist aus Carbon gefertigt. Messtechnisch werden die mechanische Biegesteifigkeit und im Extremfall die Bruchlast bestimmt. Diese Werte geben Aufschluss über die Qualität des Rahmens, insbesondere bei Kollisionen bzw. Abstürzen der Drohne.



Quadcopter



Hexacopter



Oktocopter

# 2 Motor, Propeller und Energieversorgung.

Die Motoren, Propeller und der Akku sind nicht voneinander isoliert zu betrachten. Abhängig vom Gesamtgewicht (Nutzlast und Eigengewicht des Copters) ergibt sich die erforderliche Leistung, die seitens der Motoren erbracht und von den Akkus zur Verfügung gestellt wird. Zudem muss die Akku-Kapazität für die geforderte Flugdauer ausgelegt sein. Eingesetzt werden nur noch so genannte Brushless-Motoren. Sie bieten eine hohe Drehzahl und ein hohes Leistungsmoment.

Die Drehzahl eines Motors lässt sich durch den motorspezifischen KV-Wert (Einheit: Umdrehungen/min/V) bezogen auf eine Motorspannung von 1 V ohne Last (Leerlauf) bestimmen. Dieser Wert wird seitens der Hersteller für jeden Motortyp angegeben. Multipliziert mit der tatsächlich angelegten Motorspannung ergibt sich die maximale Leerlaufdrehzahl.

Die meist eingesetzten Lipo-Akkus weisen eine Zellspannung von 3,7 V auf. Ein Beispiel: Ein Motor mit KV von 2.300 wird mit einem 3S Lipo (Lithium-Polymer-Akku), bestehend aus drei in Serie geschalteten Lipo-Zellen, betrieben. Der Motor erreicht damit eine Leerlaufdrehzahl (ohne Propeller) von  $3 \cdot 3,7 \text{ V} \cdot 2.300 \text{ Umdrehungen/min/V}$  von 25.530 Umdrehungen/min.

Eine typische Messeinrichtung sind Laser-Drehzahl-Messer, mit denen die Motordrehzahl direkt gemessen werden kann. Ein Laserstrahl fällt auf eine gut reflektierende Fläche an der Motorwelle, z. B. eine Passfedernut. Das Laserlicht wird reflektiert, gestreut und von einer entsprechend lichtempfindlichen Diode detektiert. Die Anzahl der Reflexionen pro Minute ist dann die Drehzahl des Motors.

## Propeller

Propeller sind durch die charakteristischen Parameter wie Durchmesser des Flugkreises und die Steigung bestimmt. Die Steigung wird in Zoll pro Umdrehung gemessen. Typische Angaben sind z. B. 21x4, was Folgendes bedeutet: Durchmesser 21 Zoll und Steigung 4 Zoll. Zu beachten ist, dass die Propeller paarweise geliefert werden. Dabei unterscheidet man CW (clock wise – Uhrzeigersinn) und CCW (counter clock wise – Gegen-Uhrzeigersinn), um im Betrieb des Copters die Momente auszugleichen – andernfalls würde sich der Copter drehen, ähnlich einem Hubschrauber, wenn der Heckpropeller ausfällt.

## Energieversorgung

Gebräuchlich sind heutzutage Lipos (Lithium-Polymer-Akkus). Sie bieten eine deutlich höhere Kapazität und einen deutlich höheren maximalen Strom als gewöhnliche Lithium-Ionen-Akkus. Allerdings sind sie wesentlich empfindlicher in Bezug auf Tiefentladungen, maximale Ladestromstärke und Temperatur. Bei Nichtbeachten kann es zu Explosionen und Bränden der Batterien kommen. Werden Akkupacks eingesetzt, müssen zur Ladung spezielle Ladegeräte, die s.g. Balancer eingesetzt werden, die die einzelnen Akku-Ladezustände überwachen und notfalls den Ladevorgang abbrechen. Je nach geforderter Leistung des Copters müssen die Motoren und dazu passend die Akkus gewählt werden.

Die Motoren werden typischerweise wie folgt genannt: „100 kv Multicopter Brushless Motor, Gewicht in g, 12S-24S“, was bedeutet: 12 bis 24 seriell geschaltete Lipos mit einer Zellspannung von je 3,7 V. Dieser Beispielmotor hat eine Leistung von über 9.900 W bei einem Propellerdurchmesser von 40 Zoll. Dabei können Ströme bis 200 A (für max. 3 s) fließen. Für eine längere Flugzeit können Akkus auch parallelgeschaltet werden. Beispiel 3P, was bedeutet drei Akkus mit einer Zellspannung von 3,7 V aber dreifacher Leistung. Es ist aber besondere Vorsicht geboten: Voraussetzung für eine Parallelschaltung ist, dass die Akkus gleiche Parameter aufweisen (wie Leerlaufspannung, Entladekurve usw.). Andernfalls können sich die Akkus gegenseitig entladen, erhitzen und zu Bränden führen.

Die Strombelastung der Akkus kann mittels Stromzangen in Verbindung mit einem Oszilloskop, z. B. GW Instek GDS2104A | Digital-Oszilloskop, 4 Kanal 100 MHz, gemessen werden. Ebenso die Motor-Ströme. Allerdings ist hier zu beachten, dass diese Ströme nicht sinusförmig sind und daher eine Effektivwertmessung keine hohe Genauigkeit aufweist. Einfacher wird es, wenn die Ströme, die in den Motorregler fließen, mit der gleichen Messanordnung gemessen werden.

Eine andere Möglichkeit ist der Einsatz von Stromwandlern (z. B. von PMK) in Verbindung mit einem Oszilloskop. Bei der Auswahl muss sowohl der maximal zu messende Strom bekannt sein als auch die Bandbreite der zu erfassenden Störungen. Damit lassen sich pulsartige Ströme sehr gut auf einem Oszilloskop darstellen und vermessen.

Leistungsmessgeräte sind eine dritte Lösung. Allerdings muss sehr darauf geachtet werden, welcher Strom- und Spannungsbereich von Interesse ist. Per Knopfdruck lassen sich Integralfunktionen zuschalten, mit denen unter anderem Einschaltströme, Leistungsaufnahmen, Oberschwingungen und Spannungsschwankungen bestimmt werden können.



# Motoransteuerung.

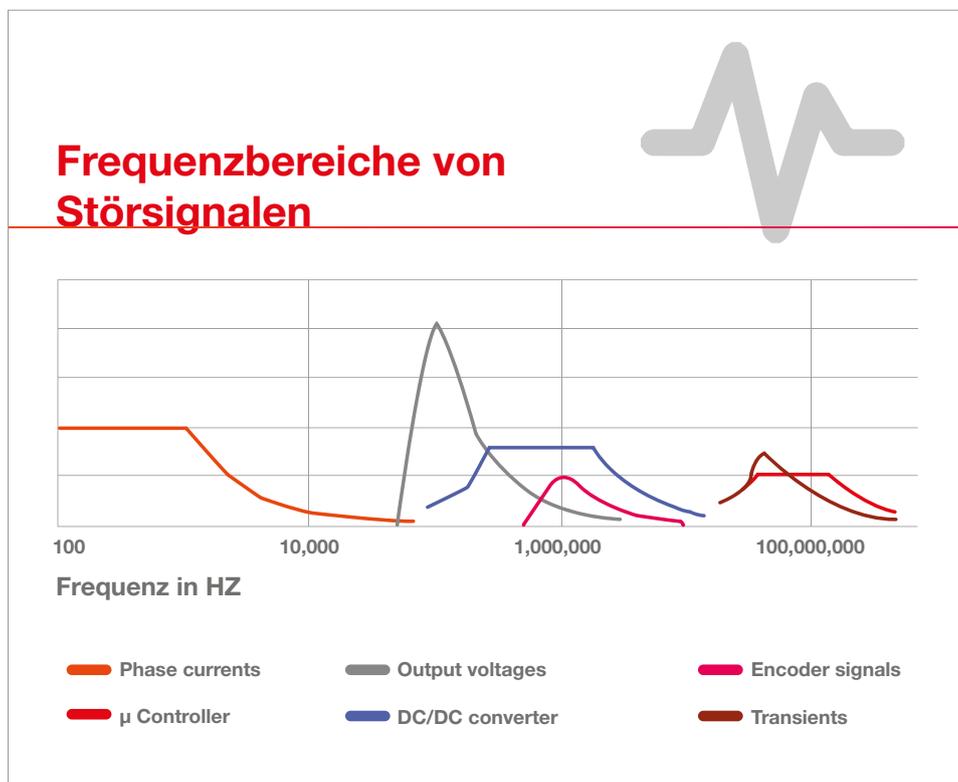
Brushless-Motoren haben eine unterschiedliche Anzahl an Polen, die bei einer Umdrehung des Motors korrekt angesteuert werden müssen. Zu jedem Motor sind daher von den Herstellern passende Motoransteuereinheiten, auch Motorregler genannt, angegeben. Jeder Motor benötigt einen separaten Regler, der typischerweise drei Phasen erzeugt, die jeweils mit  $120^\circ$  phasenversetzt zueinander sind. Dies kann mittels eines Vier-Kanal-Oszilloskops verifiziert werden. Die notwendige Drehzahlregelung erfolgt in der Regel durch eine Puls-Breiten-Modulation.

Je nach der Lage der Drohne im Raum bzw. durch Störeinflüsse wie Seitenwind oder gewollte Flugeschwindigkeits- oder Flugrichtungsänderungen, müssen die Motoren durch unterschiedliche Drehzahlen den Stösausgleich bzw. die Flugrichtung und Geschwindigkeit sicherstellen. An einer „einfachen“ Flugsituation soll die Komplexität einer Flugstabilität dargestellt werden: Der Copter ist in der Luft und steht über dem Boden. Soll er sich nun in Vorwärtsrichtung bewegen, müssen die hinteren Motoren mit höherer Drehzahl laufen, um den Copter nach vorne zu kippen. Es entsteht durch die nach vorne geneigten Propeller eine Vorwärtsbewegung.

In dieser Bewegung trifft eine Windböe seitlich den Copter. Die Flight Control-Einheit muss nun den Ausgleich schaffen, indem die einzelnen Propellermotoren entsprechend der Störung entgegenwirken.

Bei den durch Pulsweiten-Modulation betriebenen Antrieben, wie sie typischerweise bei Drohnen eingesetzt werden, ist das Beachten der EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) sehr wichtig. Die ständige Energieumwandlung von den Akkus über die Motorsteuerung mit der Energiewandlung in drei Phasen sowie, die entsprechenden Ansteuerungen seitens der Flight Control, führen zu hochfrequenten Abstrahlungen, die sowohl die interne Elektronik als auch die Elektronik in der Umgebung des Copters beeinflussen kann.

Diese Signale (s. Bild) können mit Spektrumanalysatoren und EMV-Nahfeldsonden wie z. B. GW Instek GKT-008 erfasst werden. Man kann die Probe um das fixierte Coptermodell herumführen und die jeweilige ausgesendete HF-Strahlung für einen ersten Überblick gewinnen: Zertifizierungen und Messprotokolle werden allerdings von akkreditierten Messlaboren vergeben.



Frequenzbereich der jeweiligen Störsignale in prinzipieller Darstellung.

# 4 Flight Control.

Die Flight Control ist Herz und Hirn einer Drohne. Hier laufen alle zum Betrieb des Copters notwendigen Signale zusammen, werden im integrierten Prozessor interpretiert und die entsprechenden Steuersignale an die Motorregler weitergegeben.

Eine prinzipielle Darstellung mit Prinzip-Schaltbildern des Flight Controllers findet sich unter folgendem Link mit Hinweisen wie er funktioniert:

[>>> Zur Darstellung](#)



Ferner beinhaltet die Flight Control unterschiedliche Sensoren, die für die Sicherheit und Flugrichtung notwendig sind. Seitliche Abstandssensoren sowie Höhen- und Tiefensensoren verhindern eine Kollision des Copters mit Hindernissen, die sich auf der Flugbahn befinden.

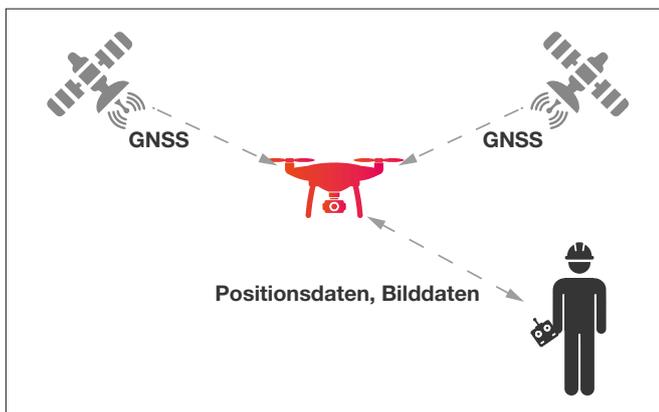
Weitere Sensoren sind z. B. Stromstärke- und Spannungs-Sensoren zu Verbrauchs- und Leistungsmessung, Einzelzell-Spannungsmessung zum Schutz der Akkuzellen vor Tiefentladung, Temperatursensor für die Motoren und Motoransteuerung etc.

Alle diese Sensoren sind heute integriert oder zumindest auf der Flight-Control-Platine platziert. Sollten sie als Einzelbauteile in einem Copter verbaut sein, so sind diese Sensoren über „Daisychain“ (eine in Serie geschaltete Kette von Sensoren mit entsprechender Priorisierung der Information) mit dem Prozessor verbunden. Die Werte oder Alarme (z. B. geringe Zellspannung) werden via Fernsteuerung / WLAN (WiFi) an den Piloten übermittelt. Zur Ortung der Drohne sind heute bereits GPS-Module integriert, so dass die Information der geographischen Breite und Länge als auch die Höhe über dem Boden ausgelesen werden kann.



## GNSS-Technik (oft GPS-Technik genannt).

GNSS-Empfänger (Global Navigation Satellite System) gibt es heute bereits als kleine integrierte Module, aus denen die momentane Position des Moduls ausgelesen werden kann. In unseren Breiten ist das US-basierte GPS (Global Positioning System) verbreitet. Das GPS-Modul einer Drohne messtechnisch zu kontrollieren, ist nicht sonderlich schwer. Voraussetzung dafür ist ein Vektor-Signal-Generator wie z. B. der SMBV100B der Firma Rohde & Schwarz. Mit diesem Generator lassen sich die Satellitensignale wiederholbar simulieren. Wiederholbare Tests sind eine Grundvoraussetzung. Bei der Verwendung von Live-GNSS-Signalen ist es unmöglich gleiche Testvoraussetzungen zu haben, da sich die Signale ständig durch eine Vielzahl an Störungen und Positionsänderungen der Satelliten ändern.



Die aktuellen Positionsdaten der Drohne, wie geographische Länge und Breite als auch die Flughöhe, werden im integrierten Prozessor berechnet. Auch die Fluggeschwindigkeit wird über die aktuellen und den zuvor ermittelten Positionsdaten berechnet und über die Funkverbindung an den Piloten übermittelt.

## Nutzlast.

Je nach Anwendung können die Drohnen mit unterschiedlichen Nutzlasten ausgerüstet werden. Dazu sind entsprechende Halterungen bzw. Aufnahmesysteme im Handel verfügbar. Meist gebräuchlich sind Kamerahalterungen, mit denen Bilder bzw. Videos aus der Luft, gemacht werden können. Die Aufnahmen für Kameras werden Gimbals genannt. Das Gimbal stabilisiert die Kamera während des Fluges, um wackelfreie Bilder zu erhalten. Diverse Ausführungen der Gimbals erlauben auch eine Steuerung der Kamera wie z. B. die Neigung, Links-/Rechts-Schwenk, Blick in Flugrichtung und in entgegengesetzter Richtung usw. Die aufgenommenen Bilder oder Video-Sequenzen werden entweder im Copter direkt auf einem Memory gespeichert oder auch per Funk an eine FPV (First Person View-Brille), siehe Absatz FPV-Equipment, übertragen, so dass dem Drohnenpiloten eine realistische Flugansicht, quasi ein Anblick aus dem Cockpit, geboten wird.

In den letzten Jahren gab es Diskussionen darüber, auch Pakete via Drohnen zuzustellen. In dicht besiedelten Gebieten und Städten scheint dies unrealistisch zu sein. Allerdings kann man sich vorstellen, beispielsweise im Gebirge, auf umständlich zu erreichenden Almen oder Höfen diesen Service einzurichten. Auch medizinische Versorgung wie Verbandsmaterial etc. lässt sich schnell einem Verletzten im Gebirge zukommen.

Wärmebildkameras können helfen, verunglückte oder flüchtige Personen in einem Waldgebiet oder in unwegsamem Gelände zu finden oder Rehkitze, die in den ersten Lebensstagen noch nicht über einen Fluchtinstinkt verfügen. Landwirte können so das Leben dieser Tiere schützen und Schaden an ihren Erntemaschinen verhindern.



Notwendig sind dazu Halterungen, die unter der Drohne montiert sind, die die Last sicher tragen und via Fernsteuerung z. B. das transportierte Gut ausklinken können.

### **FPV-Equipment (First Pilot View) (Videotransmitter, Kamera, Brille)**

Um ein Flug-Livebild der Drohne entweder auf einem Monitor oder mithilfe einer FPV-Brille darzustellen, benötigt man neben den oben aufgeführten Komponenten noch ein paar weitere Bauteile.

Als Erstes wäre da die FPV-Kamera. Die meisten FPV-Kameras haben ihren Ursprung in der Überwachungstechnik. Zur Auswahl stehen kleine 600tvl-Kameras (tvl / Television Lines), spezielle Low-Light-Kameras sowie auch 720p- und auch 1080p-Kameras.

Neben dem erforderlichen Preis ist auch zu beachten, dass höhere Auflösungen auch mit einer erhöhten Latenz in der Übertragung einhergehen können. Beim FPV-Racing werden daher oftmals Kameras (tvl-Kameras) mit geringen Auflösungen verwendet, um die Übertragungsgeschwindigkeit zugunsten der Auflösung zu optimieren.

## **Fernsteuerung und Receiver-Modul.**

Die Fernsteuerung ist ein separates Kapitel und soll hier nur kurz gestreift werden. Je nach Umfang der benötigten oder gewollten Funktionen wird die Kanalzahl bestimmt. Entsprechend muss in der Drohne auch der passende Receiver eingesetzt werden. Danach richtet sich Preis und Aufwand.

**dataTec AG**  
**Ferdinand-Lassalle-Str. 52**  
**72770 Reutlingen**

**Telefon +49 7121 / 51 50 50**  
**Telefax +49 7121 / 51 50 10**  
**E-Mail [info@datatec.eu](mailto:info@datatec.eu)**