



**EmQopter**  
Drone Tech Experts



# Quadrotor Control System

Ein Lehr- und Lernsystem für die  
Quadrokopter-Programmierung

Optimiert für Berufs- und weiterführende Schulen

[www.emqopter.de](http://www.emqopter.de)





Der technische Fortschritt, vom Computer und Smartphone, über eingebettete Systeme wie automatische Türen und programmierbare Waschmaschinen bis hin zu Industrierobotern und Inspektionsdrohnen, bringt uns täglich viele Annehmlichkeiten und Vorteile. Diese Entwicklung ist aus unserer heutigen Welt kaum mehr wegzudenken. Dabei befinden wir uns erst am Anfang. Aktuell wird an Haushalts-Robotern, autonomen Autos und Paket-Drohnen geforscht und entwickelt. Die Bedeutung der zugrunde liegenden Technologien, deren Kern durch die Fächer Informatik, Robotik, Mechatronik und Regelungstechnik behandelt wird, nimmt stetig zu.

Dabei wächst nicht allein die Bedeutung der Technik an sich, sondern immer neue, zusätzliche und mächtigere Systeme machen die Technik zunehmend komplexer. Zwangsläufig wächst damit die Notwendigkeit, dies alles zu verstehen, zu beherrschen, nutzen, aber auch lehren und unterrichten zu können.

Ein Beitrag dazu leistet das Quadrotor Control System (QCS), ein Lehr- und Lernsystem für Berufs- und weiterführende Schulen. Die Programmierung von Quadroptern bzw. Flugrobotern (Drohnen) ist dabei nur ein ausgezeichnetes Anwendungsbeispiel, das Schülerinnen und Schüler motiviert und ihnen so hilft, mit Spaß an der Sache und auf eine spielerische Art und Weise, wichtige Grundlagen anwendungsnah zu begreifen und zu beherrschen. Das QCS ist dazu Einstiegshilfe als auch Grundstein für Fach- und Projektarbeiten, mit dem Ziel das Wissen im Bereich Informatik und Technik zu vertiefen.



Das Quadrotor Control System wurde speziell für das Fach Informatik entwickelt und auf die Anforderungen des Unterrichts und vertiefender Projektarbeiten abgestimmt. Es vermittelt Grundlagen aus den Fächern Informatik, Robotik, Mechatronik sowie Regelungstechnik und ist Teil des QCS-Lehrkonzepts, das folgende Lernziele umfasst:

#### Umgang mit Informationen

Abstraktionsfähigkeit

Modellbildung

Modellierungstechniken

Methodenkompetenz

#### Rekursionen

Praktische Softwareentwicklung

Projektorientiertes Arbeiten

Informationsbeschaffung

Informationsverarbeitung

Schritt für Schritt lernen und entwickeln die Schüler Grundlagen der Informatik beim Programmieren einer Quadrocopterflugsteuerung. Als Lehrer erhalten Sie einen Einführungskurs, die dazugehörige Theorie sowie Lösungen als Powerpoint oder Booklet und können so die Schüler optimal begleiten! Das QCS ist zudem bestens für die Vertiefung in Fach- oder Projektarbeiten geeignet!

**Viel Spaß und Erfolg beim Lernen und Tüfteln!**



Das QCS im sicheren Showcase



## Das Lehr- und Lernsystem auf einem Blick

In direktem Umfeld der Lehre entwickelt, ist das QCS eine vielseitige und praxisnahe Lehr- und Lernplattform für den Einsatz an der Schule.

#### Absturzsichere Entwicklung

Mit den DOF – Aufhängungen des QCS wird das System am Arbeitsplatz gehalten, ohne die Dynamik des Systems zu verfälschen.

#### Schritt für Schritt zur Lösung

Optimale didaktische Herangehensweise durch Rekonfigurierbarkeit des Systems für die nächsten Arbeitsschritte und Aufgabenstellungen.

#### Start in die Forschung

Offene Schnittstellen zur Integration eigener Hardware und Softwaremodule nach eigenen Ideen und Vorstellungen.

# Das System

Mit dem QCS-Komplettpaket erhalten Sie in einem Paket **ALLES**, was Sie für einen erfolgreichen Unterricht benötigen!

- ✓ Hardware (QCS-Quadrokopter mit DOF-Prinzip\* und Schutzring für die sichere Verwendung)
- ✓ Software (Framework enthält Vorlagen für Schüler und Musterlösungen für Lehrer)
- ✓ Unterrichtsmaterialien (Folien / Booklet mit Theorie, Hinweisen und Aufgaben)
- ✓ Dokumentation zu Software und Hardware
- ✓ Zubuchbare Einführungskurse für Lehrer\*\*
- ✓ Hinzufügbare Add-Ons für Fach- und Projektarbeiten\*\*  
(Große Auswahl an Modulbausteinen wie Sensoren, Prozessoren und Motoren)

## Motoren

4 Brushless Motoren,  
4 Brushless Controller  
und 2 x 4 Propeller

360°  
Sicherheits-  
schutzring

## Programmierbarer Quadrokopter

Mit 32bit Mikrokontroller,  
MPU6000 mit Gyroskop und  
Accelerometer sowie I2C, USART  
und PWM Kommunikations-  
schnittstellen

\* Das DOF-Prinzip wird auf der folgenden Seite erläutert. \*\*Add-Ons und Einführungskurse nicht im Preis inbegriffen.

\*\*\* zzgl. 19% Mehrwertsteuer, gültig bis 31.03.2017



## Netzteil

Genug Strom für  
alle Motoren!

## DOF - Aufhängungen

Mit der 2-DOF Aufhängung, der  
3-DOF-Aufhängung, Rändelschrauben  
und Stativ zur schnellen und sicheren  
Befestigung am Arbeitsplatz.

## Verkabelung

Für I2C Kommunikation und  
Spannungsversorgung.

## EVK1100 Development Board

Eingebettete, professionelle  
Entwicklungsplattform für die  
Implementierung der QCS -  
Steuerung am Arbeitsplatz.

# Das DOF-Prinzip

Die Programmierung und Entwicklung einer Quadrokopter-Flugsteuerung ist aufgrund der 6 Freiheitsgrade (engl. DOF = Degree of Freedom) des freien Flugs eine komplexe Angelegenheit. Doch dank der DOF-Aufhängungen müssen Sie sich bei der Entwicklung keine Gedanken über die Absturzgefahren des Quadrokopters machen!

Die speziell für die Quadrokopterprogrammierung entwickelten DOF-Aufhängungen dienen dazu, das System sicher gegen unerwünschtes Abheben am Arbeitsplatz zu fixieren und mechanisch einzelne Freiheitsgrade zu schalten. Dadurch ermöglichen sie dem Benutzer die einzelnen Regler für die verschiedenen Bewegungsachsen des Systems unabhängig voneinander zu bearbeiten. Das Umstecken der Gelenke zur Konfiguration der Freiheitsgrade ist durch ein einfaches und schnelles Stecksystem realisiert, sodass keine Umbaupausen die Entwicklung behindern! In wenigen Sekunden kann der QCS am Arbeitsplatz fixiert und so kontrolliert betrieben werden oder – sobald gewünscht – als QCS-F frei geflogen werden.

Am Ende der Entwicklung haben Sie Ihre **eigene Flugsteuerung** für den QCS-Quadrokopter implementiert, die bereit ist abzuheben! Tauschen Sie einfach die DOF-Aufhängung gegen den, in der QCS-F Erweiterung enthaltenen, Akkuhalter aus, schalten Sie die Fernsteuerung an und heben Sie ab!

Auch über die anfängliche Entwicklung der Flugsteuerung hinaus können Sie mit Hilfe des DOF-Prinzips Ihre selbst entwickelte Software nach kritischen Änderungen zunächst auf Herz und Nieren testen bevor Sie fliegen gehen. Damit vermeiden Sie Abstürze, Reparaturen und Kosten!



Ein Quadrokofter lässt sich über alle 3 Achsen des dreidimensionalen Raumes rotieren, sodass insgesamt 3 Regler für eine stabile Lageregelung des Kopters im Flug benötigt werden. Für die gesamte Programmierung der QCS-Flugsteuerung werden lediglich zwei DOF-Aufhängungen benötigt, mit denen Sie alle Regler unabhängig voneinander programmieren und konfigurieren können.

## Die 2-DOF-Aufhängung

Mit dieser Aufhängung steigen Sie in die Programmierung der Quadrokofter-Flugsteuerung ein. Zunächst beginnen Sie, den Quadrokofter über die Roll-Achse zu stabilisieren. Dazu wird die Aufhängung in der Gier-Achse arretiert, sodass nur noch Rotationen des QCS um die Roll-Achse möglich sind. Durch die Fixierung können Sie entspannt die richtigen Reglerparameter finden. Wenn die Regelung um die Roll-Achse stabilisiert ist, kann mit der Regelung der Gier-Achse begonnen werden, wozu die Roll-Achse arretiert werden kann. Schließlich kann das überlagerte Reglerverhalten ohne Arretierungen von Roll- und Gier-Achse behandelt werden.

## Die 3-DOF-Aufhängung

Wenn das QCS stabil um die Roll- und Gier-Achse regelt, kann mit wenigen Handgriffen die Aufhängung ausgetauscht werden, um die Regelung um alle 3 Achsen gleichzeitig zu betrachten. Die 3-DOF-Aufhängung ist so konzipiert, dass sie von ihren Systemeigenschaften dem freien Flug entspricht. Dadurch ist ein gut regelnder Quadrokofter auf der 3-DOF-Aufhängung bereit für den Flug! Mit wenigen Griffen kann das System mit dem QCS-Akkualter ausgestattet und für den freien Flug vorbereitet werden. Und fertig ist der selbst programmierte Quadrokofter!



# Das QCS-Lehrkonzept

Über 7 Jahre erprobt, findet das QCS große Anerkennung in Lehre und Forschung. Um den Einstieg in die Informatik und Quadrokopter-Programmierung zu erleichtern, wurde das QCS-Lehrkonzept entwickelt. In 8 Lernabschnitten wird das Fachgebiet umfassend behandelt. Die Lernabschnitte werden ständig verbessert und erweitert. Falls Ihnen etwas fehlt oder Sie Verbesserungsvorschläge haben, sprechen Sie uns gerne darauf an!

Dank des direkten Bezugs zur Praxis und eines hoch aktuellen sowie spielerischen Themas sind die Schüler mit hoher **Motivation** in die Programmierung ihrer eigenen Flugsteuerung vertieft. Zu jedem Abschnitt bekommen Sie als Lehrer Aufgabenstellungen, Hilfestellungen, Theorie sowie Software (Vorlagen für Schüler, Lösungen für Lehrer) an die Hand. Zusätzlich bieten wir einen Einführungskurs an, bei dem an die Hardware, Software und Unterrichtsmaterialien herangeführt wird.

## Voraussetzungen

Das QCS-Lehrkonzept **setzt grundlegende Kenntnisse der Programmierung** voraus. Hierzu wird als Grundlage ein Jahr Informatikunterricht empfohlen. Außerdem wird maximal ein halbjähriger C-Grundlagenkurs benötigt.

## Ablauf und Zeitrahmen

Der zeitliche Umfang des QCS-Lehrkonzepts kann je nach Vertiefung **wenige Wochen bis hin zu einem Halbjahr** betragen. Die Aufgabenstellungen zu den jeweiligen Lernabschnitten können unabhängig voneinander ausgeweitet oder reduziert werden, um so gezielt Aspekte zu fokussieren. Es bietet sich an, die Grundlagen der Programmierung in C im ersten Halbjahr zu behandeln und mit dem QCS-Lehrkonzept im 2. Halbjahr einzusteigen.

## Zielgruppe

Das QCS-Lehrkonzept richtet sich an Schülerinnen und Schüler der 12. Jahrgangsstufe des Gymnasiums bzw. des 2. Lehrjahrs einer Berufsschule. Es ist für folgende Fächer optimiert:

- Informatik
- Mechatronik
- Robotik
- Regelungstechnik
- Technik

## Methoden, Ansätze und Materialien für Lehrer

Als Lehrer erhalten Sie mit dem QCS alles, was Sie für den Unterricht benötigen. Dazu gehören:

- ✓ Unterrichtsmaterialien als Folien oder Booklet für 8 umfangreiche Lernabschnitte inklusive Theorie und Aufgabenstellungen
- ✓ Framework-Vorlage (Lückentext Software) für Ihre Schüler zum Bearbeiten
- ✓ Fertige Lösungen (Software) mit Erklärung zu jedem Lernabschnitt
- ✓ Ausführliche Dokumentation zu Software und Hardware
- ✓ Zum Einstieg bieten wir in Würzburg, vor Ort oder via Skype einen kompakten Einführungskurs für Sie an, bei dem wir alle Materialien (Hardware, Software, Folien) vorstellen und Fragen beantworten.

## Adressierte Lernziele und Fähigkeiten

- Richtiger Umgang mit Informationen
- Abstraktionsfähigkeit und Urteilsvermögen
- Teamarbeit und soziale Kompetenzen
- Modellbildung und Modellierungstechniken
- Methodenkompetenz mit Anwendungsbezug:
  - ✓ Funktionen, Algorithmen und Rekursionen
  - ✓ Praktische Softwareentwicklung
  - ✓ Dynamische Informationsstrukturen
  - ✓ Projektorientiertes Arbeiten und Planen

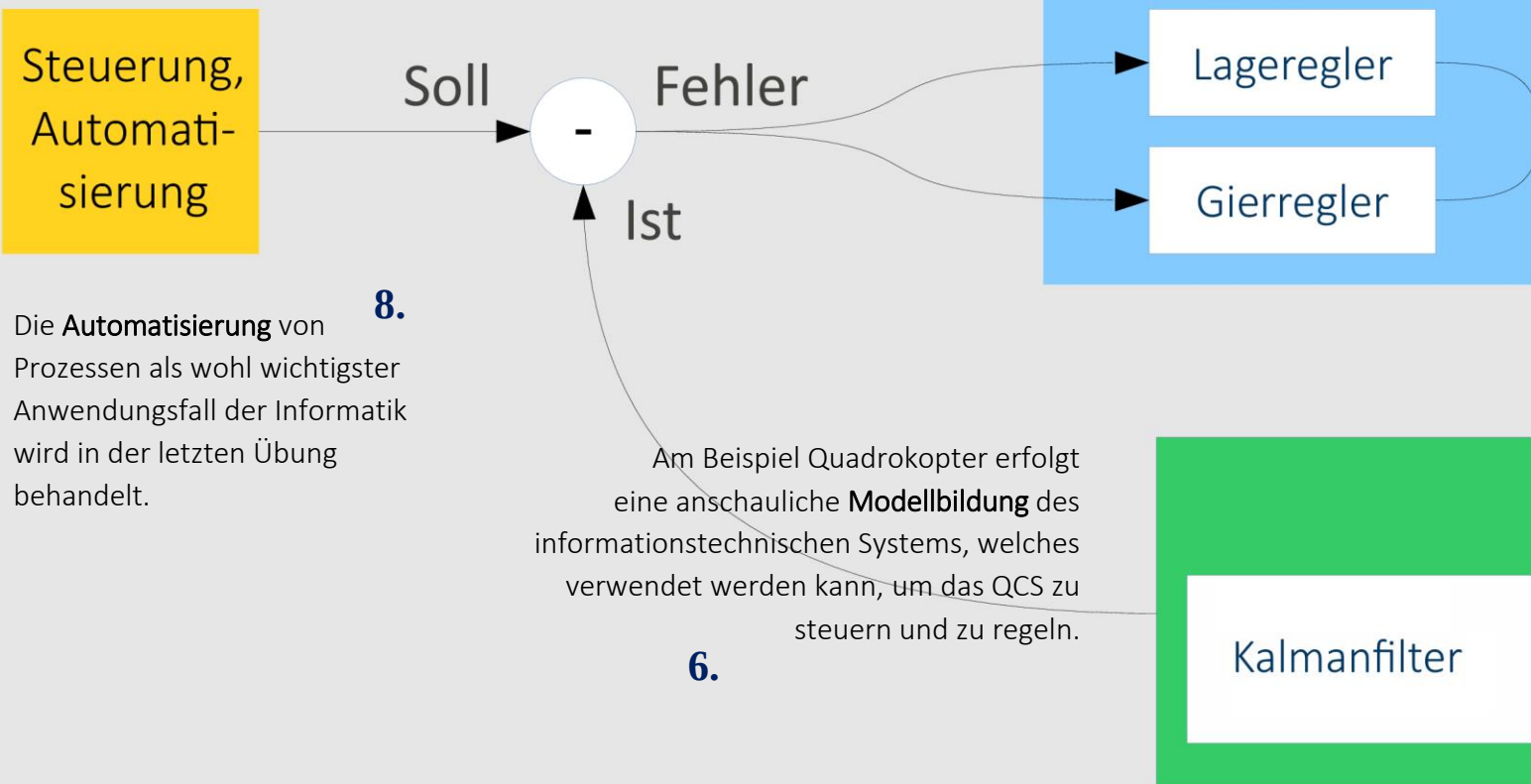
## Themenblöcke:

- Einführung Informationstechnik und eingebettete Systeme
- Informationsverarbeitung (Teil 1) und Darstellung
- Kommunikation: Senden, Empfangen, Verarbeiten von Informationen (Daten)
- Informationsbeschaffung und Sensorik
- Informationsverarbeitung (Teil 2) und Filter
- Modellbildung am Beispiel QCS
- Steuerung, Regelung und Parametrisierung
- Automatisierung



# Die Themenblöcke

Mit dem QCS können Sie die komplette Programmierung und den Umgang mit Informationen vom ersten Auslesen der Sensoren (Informationsbeschaffung), über die Datenverarbeitung (Informationsverarbeitung) bis hin zur Regelung und Automatisierung (Modellbildung) durchlaufen, lehren und lernen. Dafür haben wir vollständige Unterrichtsmaterialien erarbeitet, die wir Ihnen anhand von Präsentationsmaterial und Booklets mitgeben:



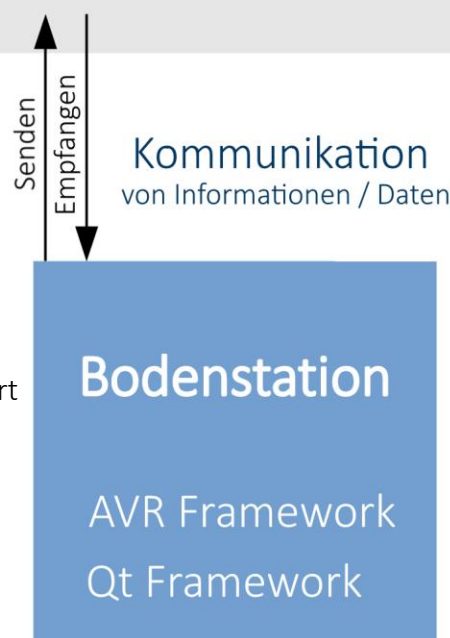
8. Die **Automatisierung** von Prozessen als wohl wichtigster Anwendungsfall der Informatik wird in der letzten Übung behandelt.

Am Beispiel Quadrokopter erfolgt eine anschauliche **Modellbildung** des informationstechnischen Systems, welches verwendet werden kann, um das QCS zu steuern und zu regeln.

6.

1.

Die Steuerung des QCS erfolgt über einen AVR 32bit Mikrocontroller, der in C programmiert wird. Im Abschnitt **Einführung Informationstechnik und eingebettete Systeme** wird das AVR Entwicklungs-Framework vorgestellt.

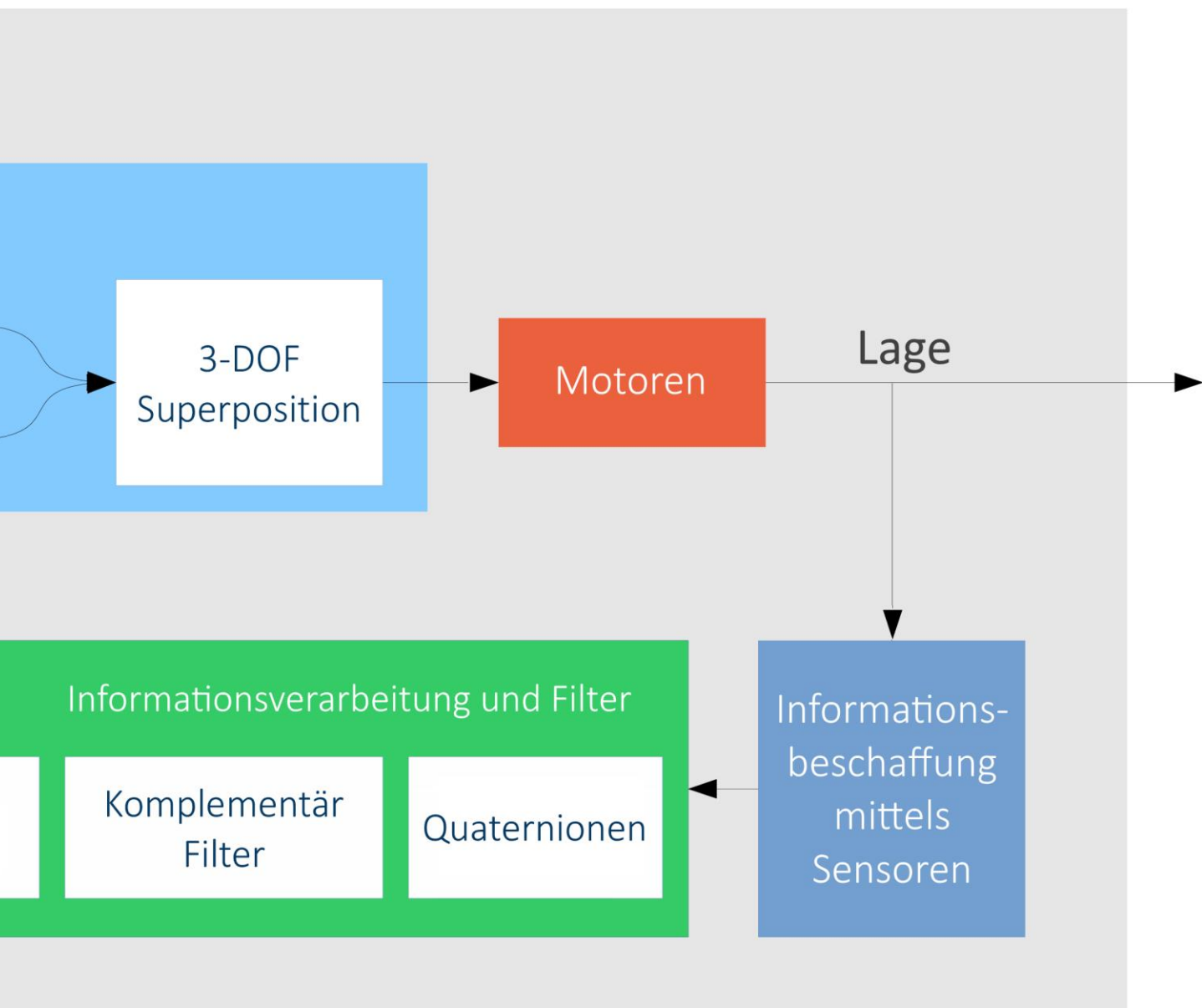


3. Im Kapitel **Kommunikation: Senden, Empfangen, Verarbeiten von Informationen** werden Nachrichten zwischen QCS und Bodenstation ausgetauscht.

2. **Informationsverarbeitung und Darstellung** sind Grundsteine bei der Programmierung eingebetteter Systeme und werden in diesem Themenblock behandelt. Dazu gehört auch das Debugging.

Im Abschnitt **Steuerung, Regelung und Parametrisierung** werden die Motoren entsprechend der gewonnenen Daten der Sensoren und Befehle des Benutzers angesteuert, damit das QCS das gewünschte Manöver durchführt. Hierzu gehören auch die Parameter, die das Regelverhalten bestimmen. Die hier implementierten Funktionen sind dafür verantwortlich, das QCS manövrierbar zu machen.

7.



5.

Im Abschnitt **Informationsverarbeitung und Filter** wird an Hand weit verbreiteter Filtermodelle auf die Methodik der Datenverarbeitung eingegangen.

4.

Im Themenblock **Informationsbeschaffung und Sensorik** wird die QCS Lagesensorik als Beispiel für eine digitale Informationsquelle behandelt.

# Vertiefende Arbeiten mit dem QCS-F

Das Ergebnis der Arbeit mit dem QCS ist eine flugreife Flugsteuerung, die mit der Flugerweiterung, dem QCS - Flying (QCS-F), für weiterführende Arbeiten wie Fach- oder Projektarbeiten eingesetzt werden kann. Auf der Basis des QCS - Softwareframeworks, welches vielerlei Schnittstellen für die Integration weiterer Module bietet, können eigene Ansätze für aktuelle Forschungsthemen aus dem Bereich der Robotik und Technik behandelt werden. Zusammen mit dem QCS erhalten Sie eine ausführliche Dokumentation zu Soft- und Hardware. Darüber hinaus bieten wir Ihnen eine breite, ständig aktualisierte und wachsende Palette an Add - Ons, um einen schnellen Einstieg in eine Vielzahl tiefergehender Fragestellungen zu ermöglichen.

## Höhensensorik

Die automatische Kontrolle der Flughöhe ist ein Grundstein für die Entwicklung intelligenter Flugroboter. Mit diesem Add-On erhalten Sie ein Modul bestehend aus Ultraschall-, Infrarot- und Luftdrucksensoren, um kontinuierlich die Flughöhe messen zu können.

## Optischer Fluss

Mit der Sensorik zur Erfassung des optischen Flusses ist das System in der Lage, seine laterale Bewegung bezüglich des Grundes zu bestimmen und zu regeln. Dadurch wird eine sehr genaue Positionsregelung und Flugstabilisierung ermöglicht.

## GPS-Modul

Das globale Positionierungssystem ist das optimale Hilfsmittel für die Positionskontrolle der Drohne. Steuern Sie das QCS-F über GPS-Wegpunkte und lassen Sie Missionen selbständig abfliegen, ohne manuell eingreifen zu müssen!



## Objekterkennung

Für die eigenständige Missionsplanung ist eine möglichst umfassende Kenntnis der Umgebung entscheidend. Mit High-End CPU und On-Board Kamera kann eine automatische Objekterkennung und Situationsbeurteilung für die Drohne implementiert werden.

## Stereo Vision

Eine Form der Umgebungserfassung ist die Methode der Stereo Vision. Nach dem Prinzip des menschlichen Sehens, kann die Drohne, mit High-End CPU und Stereokameras ausgestattet, ein räumliches Abbild der Umgebung errechnen.



Für eine optimale  
Eigenpräsentation  
integrieren wir **Ihr Logo**  
auf Wunsch bereits bei der  
Fertigung!

## Hinderniserkennung

Eine zuverlässige Hinderniserkennung ist essenziell für die Durchführung von autonomen Missionen z.B. in Gebäuden, Tunneln, etc. Mit dem Hinderniserkennungsmodul können Objekte in der Umgebung der Drohne erfasst und davon abgeleitet Maßnahmen zur Kollisionsvermeidung unternommen werden.

# Erfahrungen mit dem QCS

Das Quadrotor Control System wird seit 7 Jahren an Universitäten und Schulen eingesetzt. Das Lehrsystem erweist sich von Beginn an und fortwährend großer Beliebtheit unter Lernenden und Lehrenden.



Dr. Fischer erklärt das Quadrotor Control System dem Brandenburgischen Ministerpräsidenten Dietmar Woidke anlässlich des Besuchs des Ministerpräsidenten auf der CeBIT 2016 in Hannover:

*„Ich habe noch nie erlebt, dass so lange und hoch motiviert am Arbeitsplatz an Lösungen getüftelt wird!“*

Ministerpräsident des Landes Brandenburg Dietmar Woidke am CeBIT-Stand der TH Brandenburg.



Prof. Dr. Sergio Montenegro mit seinen Studierenden an der Universität Würzburg, an der das Quadrotor Control System im Studiengang Luft- und Raumfahrtinformatik seit über 6 Jahren erfolgreich in der Lehre eingesetzt wird:

*„Einfach super!“*

Prof. Montenegro (l.) an der Universität Würzburg ist vom Quadrotor Control System begeistert.

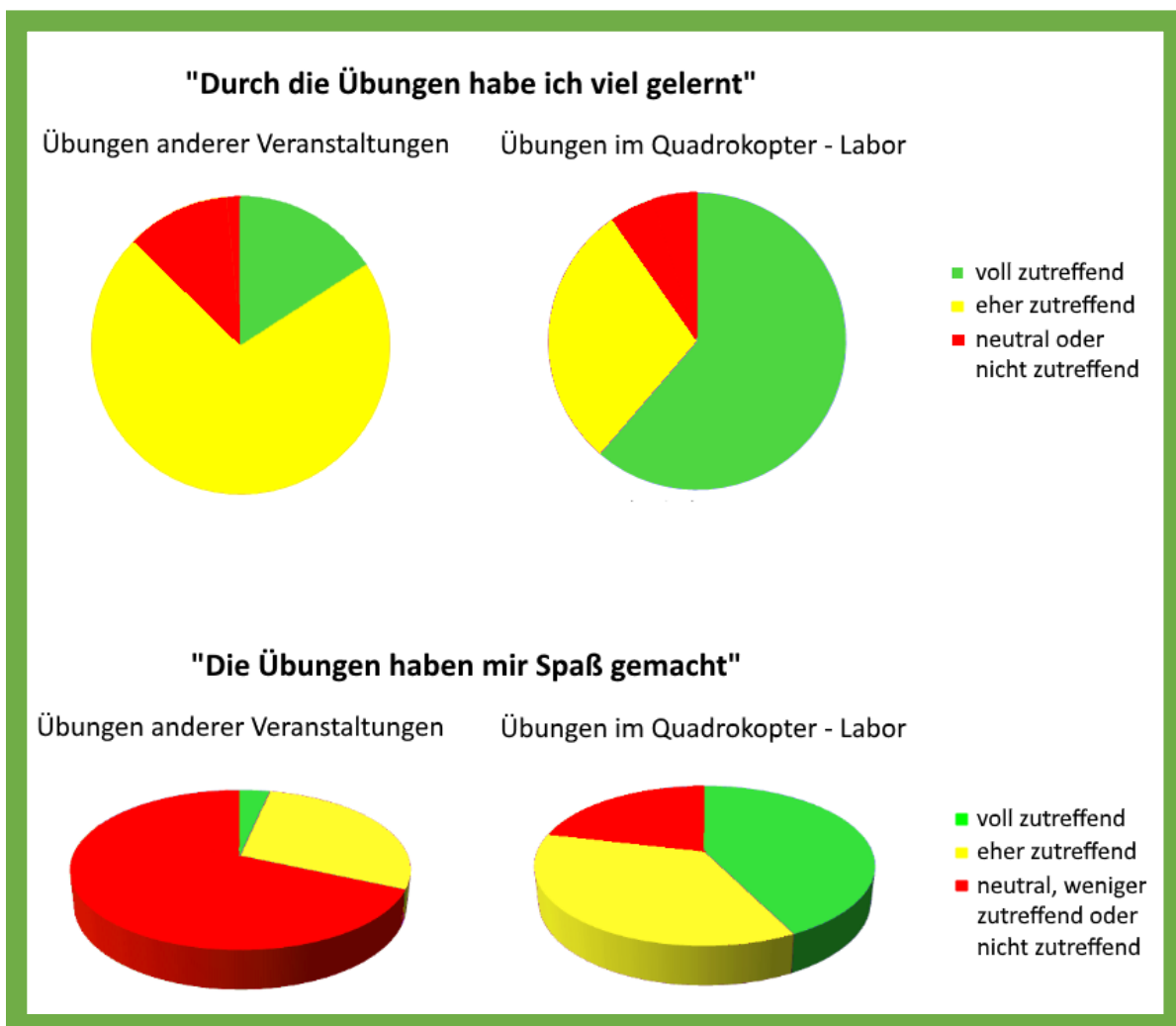
Teilnehmer der Summerschool „Aerospace Information Technology“ 2015 in Würzburg:

*„I am in my 1st year master studies and this was the best exercise I ever had!“*

*“Quadrotor exercises – VERY COOL!“*

*“I really liked the Quadrotor Lab and enjoyed to work with the system!“*

Die Wirkung des Einsatzes des QCS – Lehrkonzepts auf Lernende wurde im Vergleich zu anderen Lehrveranstaltungen erfasst. Hier einige Ergebnisse (veröffentlicht auf der SPIE – Conference in San Francisco 2015):



Aus gestalterischen Gründen wurde gelegentlich die maskuline Form verwendet, um Personen beiderlei Geschlechts anzusprechen.



**Emqopter GmbH**

Otto-Hahn-Str. 7

97080 Würzburg

Tel.: +49 (0) 931 32918923

Email: [info@emqopter.de](mailto:info@emqopter.de)

[www.emqopter.de](http://www.emqopter.de)