



EmQopter

Drone Tech Experts



Quadrotor Control System

Ein Lehr- und Lernsystem für die
Quadrokopter-Programmierung

Optimiert für Hochschulen und Universitäten

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 Technische 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 Quadroter Control System (QCS), ein Lehr- und Lernsystem für Universitäten und Hochschulen. Die Programmierung von Quadroptern bzw. Flugrobotern (Drohnen) ist dabei nur ein ausgezeichnetes Anwendungsbeispiel, das Studentinnen und Studenten 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 weiterführende Arbeiten im Bereich Flugrobotertechnik.



Das Quadrotor Control System wurde speziell für die Lehre und Forschung im Bereich der Flugrobotertechnik entwickelt und auf die Anforderungen in Unterricht und Forschung abgestimmt. Es vermittelt Grundlagen aus den Fächern Technische Informatik, Robotik, Mechatronik und Regelungstechnik.

Es ist Teil des QCS-Lehrkonzepts, das die folgenden Themenfelder umfasst:

Eingebettete Programmierung
Sensorik
Signalverarbeitung
Echtzeitsysteme
Regelungstechnik

Steuerung
Verteilte Systeme
Kommunikation: Telemetrie & Telekommandierung
Automatisierung

Schritt für Schritt lernen und entwickeln die Studierenden ihre eigene Quadrocopter-Flugsteuerung, die als Grundstein für die weitere Entwicklung im vielseitigen Gebiet der Flugrobotertechnik dient – Ideal als Framework für Studienarbeiten! Als Dozent erhalten Sie von uns einen Einführungskurs, die dazugehörige Theorie sowie Lösungen und können so die Studierenden optimal begleiten. In einem Satz:

Viel Spaß und Erfolg beim Lernen und Forschen!



Das Lehr- und Lernsystem auf einem Blick

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

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 Start benötigen!

- ✓ Hardware (QCS-Quadrokopter mit DOF-Prinzip* und Schutzring für eine sichere Verwendung)
- ✓ Software (Framework enthält Vorlagen für Studierende und Musterlösungen für Dozenten)
- ✓ Lerninhalte (Folien mit Theorie, Hinweisen und Aufgaben)
- ✓ Dokumentation
- ✓ Zubuchbare Einführungskurse für Dozenten**
- ✓ Hinzufügbare Add-Ons** (Große Auswahl an Modulbausteinen wie Sensoren, Prozessoren und Aktuatoren für nahezu alles Erdenkliche)

Das gesamte Komplettpaket gibt es für **NUR 1485€*****.

Beim Kauf von mehreren Systemen gibt es

das vierte und sechste System zum halben Preis!

360°

Sicherheits-
schutzring

Aktuatorik

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

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 2-DOF und 3-DOF Gelenken,
Rändelschrauben und Stativ zur
einfachen und stabilen Befestigung
am Arbeitsplatz.

Verkabelung

Für I2C Kommunikation und
Spannungsversorgung.

EVK1100 Development Board

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, mechanisch einzelne Freiheitsgrade zu und abzuschalten, wodurch die einzelnen Regler für die verschiedenen Bewegungsachsen des Systems unabhängig voneinander betrachtet, implementiert und parametrisiert werden können. Eine weitere Besonderheit: Das System ist am Arbeitsplatz über die DOF-Gelenke fixiert, sodass das QCS sicher und einfach programmiert werden kann. 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 neben dem Schreibtisch 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 Änderung 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 1 - 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 alle 3 Achsen gleichzeitig zu betrachten. Die 3-DOF-Aufhängung ist so konzipiert, dass sie von seinen Systemeigenschaften dem freien Flug entspricht. Ein Regler, der die 3-DOF-Aufhängung stabil bewältigt, kann auch fliegen.

Dadurch ist ein gut regelnder Quadrokofter auf der 3-DOF-Aufhängung bereit für den Flug! Mit wenigen Griffen kann das System mit dem QCS-Akkuhalter ausgestattet und für den freien Flug vorbereitet werden. Und fertig ist der selbst programmierte Quadrokofter!



Das QCS – Lehrkonzept

An Universitäten und Hochschulen über 7 Jahre erprobt, findet das QCS große Anerkennung in Lehre und Forschung. Um das System gezielt und effizient nutzen zu können, wurde das QCS-Lehrkonzept entwickelt. In aktuell 12 Lernabschnitten werden die Inhalte der Quadrokopter-Programmierung 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 Studierenden mit hoher **Motivation** in die Programmierung ihrer eigenen Flugsteuerung vertieft. Zu jedem Abschnitt bekommen Sie Aufgabenstellungen, Hilfestellungen, Theorie sowie Software (Vorlagen für Studenten, Lösungen für Dozenten) an die Hand. Für Dozenten bieten wir außerdem einen Einführungskurs an, bei dem an die Hardware, Software und Lerninhalte herangeführt wird.

Voraussetzungen

Das QCS-Lehrkonzept setzt grundlegende Kenntnisse der **Programmierung in C** voraus. Hier genügt ein einsemestriger Vorbereitungskurs als Grundlage. Für die Erarbeitung der Aufgaben hat sich das Zusammenwirken in 2er-Gruppen bewährt, wodurch zusätzlich Teamfähigkeit und Softskills gestärkt werden.

Ablauf und Zeitrahmen

Der zeitliche Aufwand pro Lernabschnitt beträgt ca 2 - 4 Zeitstunden in der Präsenzübung zuzüglich Selbststudium. Die Programmierung von Quadrokoptern ist ein durchweg praktisches Themenfeld, bei dem die direkte Arbeit mit Hardware und Software entscheidend für die erfolgreiche Entwicklung ist. Dabei dient das Quadrotor Control System als Entwicklungsplattform, an der die einzelnen Übungen implementiert und erarbeitet werden können. Die Bearbeitung der Abschnitte und der zugehörigen Aufgaben wird in einem wöchentlichen Turnus empfohlen, sodass sich ein Zeitrahmen von 12 Wochen ergibt.

Die Zielgruppe

Das QCS-Lehrkonzept beinhaltet Inhalte zu den Themen:

- **Eingebettete Programmierung**
- **Sensorik**
- **Signalverarbeitung**
- **Echtzeitsysteme**
- **Regelungstechnik**
- **Steuerung**
- **Verteilte Systeme**
- **Kommunikation (Telemetrie, Telekommandierung)**

Daher ist das Quadrotor Control System **nicht nur an Drohnentechniker adressiert**, sondern darüber hinaus an alle, die mit den obigen Themen befasst sind, also auch angehende oder gelernte Ingenieure, Mechatroniker und Informatiker.

Methoden, Ansätze und Materialien für Dozenten

Als Dozent erhalten Sie mit dem QCS alles, was Sie für die effektive Lehre im Bereich der Flugrobotertechnik benötigen. Dazu gehören:

- ✓ Lerninhalte als Übungsfolien für 12 Lernabschnitte inkl. Theorie und Aufgabenstellungen
- ✓ Framework-Vorlage (Software) für Studierende zum Einstieg
- ✓ Fertige Lösungen (Software) zu jedem Lernabschnitt
- ✓ Ausführliche Dokumentation zu Soft- und Hardware
- ✓ Zum Einstieg in die Thematik der Flugrobotertechnik bieten wir in Würzburg, vor Ort oder via Skype einen kompakten Einführungskurs für Dozenten an, bei dem wir alle Materialien (Hardware, Software, Lerninhalte) vorstellen und Fragen beantworten.

Exemplarische Modulbeschreibung der Lehrveranstaltung:

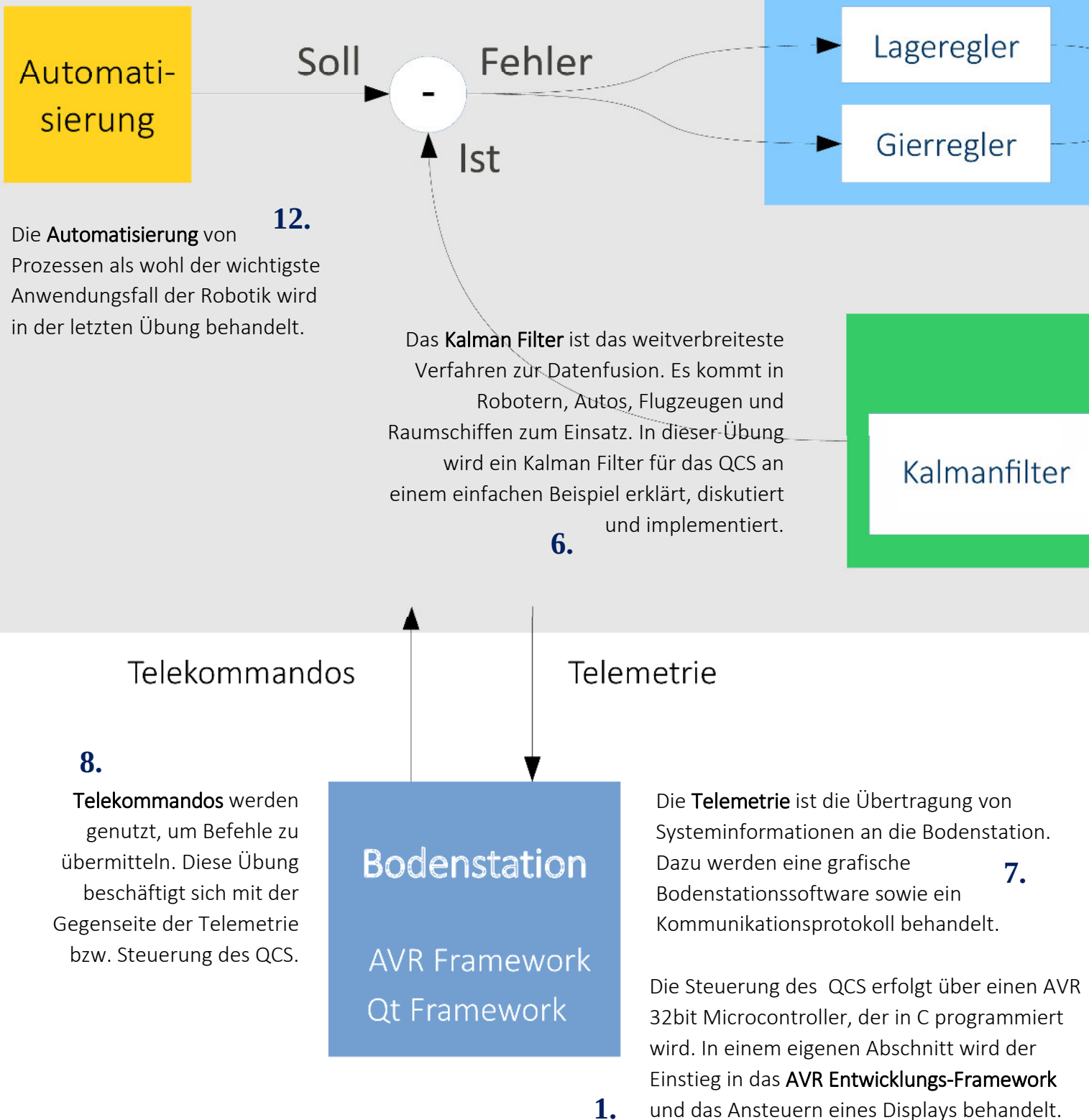
Modulbezeichnung	Quadrokopter Programmierung
Dauer	12 Wochen
Häufigkeit des Angebotes	Jährlich einmal
Lehrsprache	Deutsch / Englisch
Voraussetzungen	Grundkenntnisse in C-Programmierung
ECTS-Credits	5
Gesamtworkload und Zusammensetzung	150 h (30 Präsenz, 120 Selbststudium)
Lehrform	Wöchentlich 2h Präsenzübungen mit selbständiger Vor- und Nachbereitung
Prüfungsleistungen	Testat
Lernergebnisse	Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer werden befähigt, eine Flugsteuerung für einen Quadrokopter zu implementieren. (Sensorik, Datenverarbeitung, Filterung, Regelung)
Inhalte	• Kommunikation: USART, Telemetrie und Telekommandierung • Sensorik und Signalverarbeitung (Kalmanfilter, Komplementärfilter, Quaternionen) • Quadrokopterregelung (Lage, Gier, 3DOF) • Automatisierung von Steuerbefehlen
Lehr- und Lernmethoden	Vermittlung der theoretischen und technischen Grundlagen in Frontalunterricht und Demonstrationen, Problemorientierte Aufgabenstellungen zur selbständigen Erarbeitung am Quadrotor Control System und PC
Literatur	• Faszination Quadrokopter, Büchi, 2010 • Drohnen: seit 1990, Laumanns, 2012 • Regelungstechnik 1, Lunze, 2014 • An introduction to the Kalman Filter, Welch & Bishop, 2006 • Autonome Quadrokopter zur Innenraumerkundung, Gageik, 2015

Die Lerninhalte

Für die **Lageregelung** eines Quadropters müssen mehrere Regler implementiert werden. In zwei Abschnitten wird die Funktionsweise eines PID-Reglers erläutert und die unabhängige Regelung der Roll-, Pitch- und Yaw Achsen eines Quadropters behandelt.

9 - 10.

Mit dem QCS können Sie die komplette Programmierung vom ersten Auslesen der Sensoren, über die Datenfilterung und -aufbereitung bis hin zur Regelung und Automatisierung durchlaufen, lehren und lernen. Dafür haben wir vollständige Lerninhalte erarbeitet, die wir Ihnen anhand von Präsentationsmaterial mitgeben:



1.

Schließlich sind die unterschiedlichen Regler zu superpositionieren, um eine gemeinsame und gleichzeitige Regelung aller 3 Achsen des Raumes zu gewährleisten. In diesem Abschnitt wird auf Effekte und Randbedingungen der **Superposition** und Mehrgrößenregelung eingegangen.

11.

Für die Regelung des QCS ist eine **IMU**, eine so genannte inertielle Messeinheit, notwendig, mit deren Hilfe die aktuelle Orientierung in 3D bestimmt werden kann. In diesem Abschnitt werden die Grundlagen, die Ansteuerung und das Auslesen der IMU behandelt.

3.

3-DOF
Superposition

Aktuatoren

Lage

Signalverarbeitung

Komplementär
Filter

Quaternionen

IMU

5.

Um eine driftfreie Orientierungsbestimmung zu gewährleisten, sind zwei Sensoren, ein Accelerometer und ein Gyroskop, erforderlich. Beide Sensoren haben ihre intrinsischen Schwächen, aber mittels **komplementärer Datenfusion** lassen sich diese überwinden. Das in dieser Übung behandelte Complementary Filter ist ein einfaches, aber effektives Filter, um dies zu erreichen.

2. USART / UART Kommunikation und Debugging

Die Kommunikation und das Debugging sind wichtige Hilfsmittel bei der Programmierung eingebetteter Systeme. Die sämtliche Datenübertragung zwischen QCS und Bodenstation können Sie nach Ihren Vorstellungen gestalten, wozu dieser Abschnitt eine Einführung liefert.

4.

Die korrekte Verarbeitung der inertialen Sensordaten zur Orientierungsbestimmung ist entscheidend für die spätere Verwendung zur Lageregelung. Quaternionen sind dazu heute das Mittel der Wahl. Die Übung gibt überdies eine wertvolle Einführung in das Zahlensystem der **Quaternionen** und ihre praktische Verwendungsmöglichkeiten.

Weiterführende Entwicklung mit dem QCS-F

Das Ergebnis der Arbeit mit dem QCS ist eine flugreife Flugsteuerung, die mit der Flugerweiterung, dem QCS - Flying (QCS-F), bei weitergehenden Arbeiten im Bereich Forschung und Entwicklung eingesetzt werden kann.

Auf der Basis des offenen QCS - Softwareframeworks, welches vielerlei Schnittstellen für die Integration weiterer Module bietet, können individuelle Ansätze für aktuelle Forschungsthemen aus dem Bereich der Flugrobotertechnik behandelt werden. Zusammen mit dem QCS erhalten Sie eine ausführliche Dokumentation. Darüber hinaus bieten wir Ihnen eine breite, ständig aktualisierte und wachsende Palette an Add - Ons, um einen schnellen Einstieg in eine Vielzahl an tiefergehenden Forschungsgebieten zu Themen wie z.B. Autonomie, Schwarmverhalten, SAR (Search - And - Rescue) zu ermöglichen.



Höhensensorik

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

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.



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

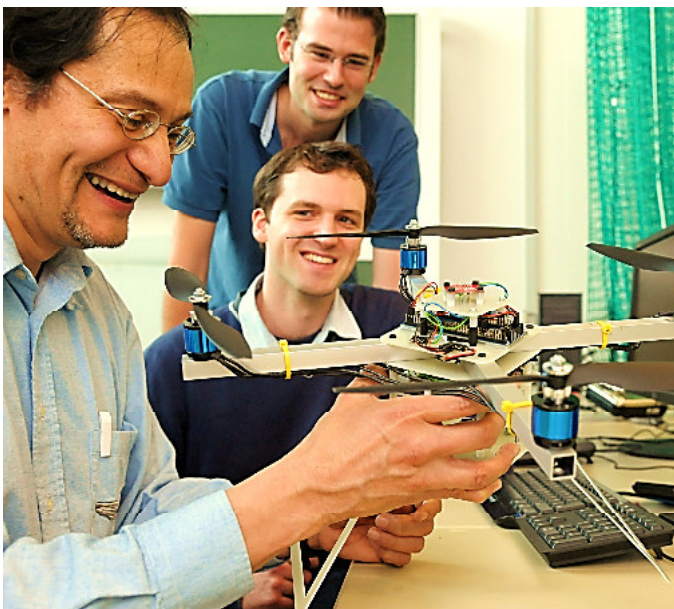
Das Quadrotor Control System wird seit 7 Jahren an Universitäten und Hochschulen eingesetzt. Das Lehrsystem erweist sich von Beginn an fortwährend großer Beliebtheit unter Studierenden und Dozenten.



Prof. Dr. Fischer von der Technischen Hochschule Brandenburg 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 Studierende so lange und hoch motiviert an ihrem Arbeitsplatz sitzen, um Lösungen zu entwickeln!“

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.

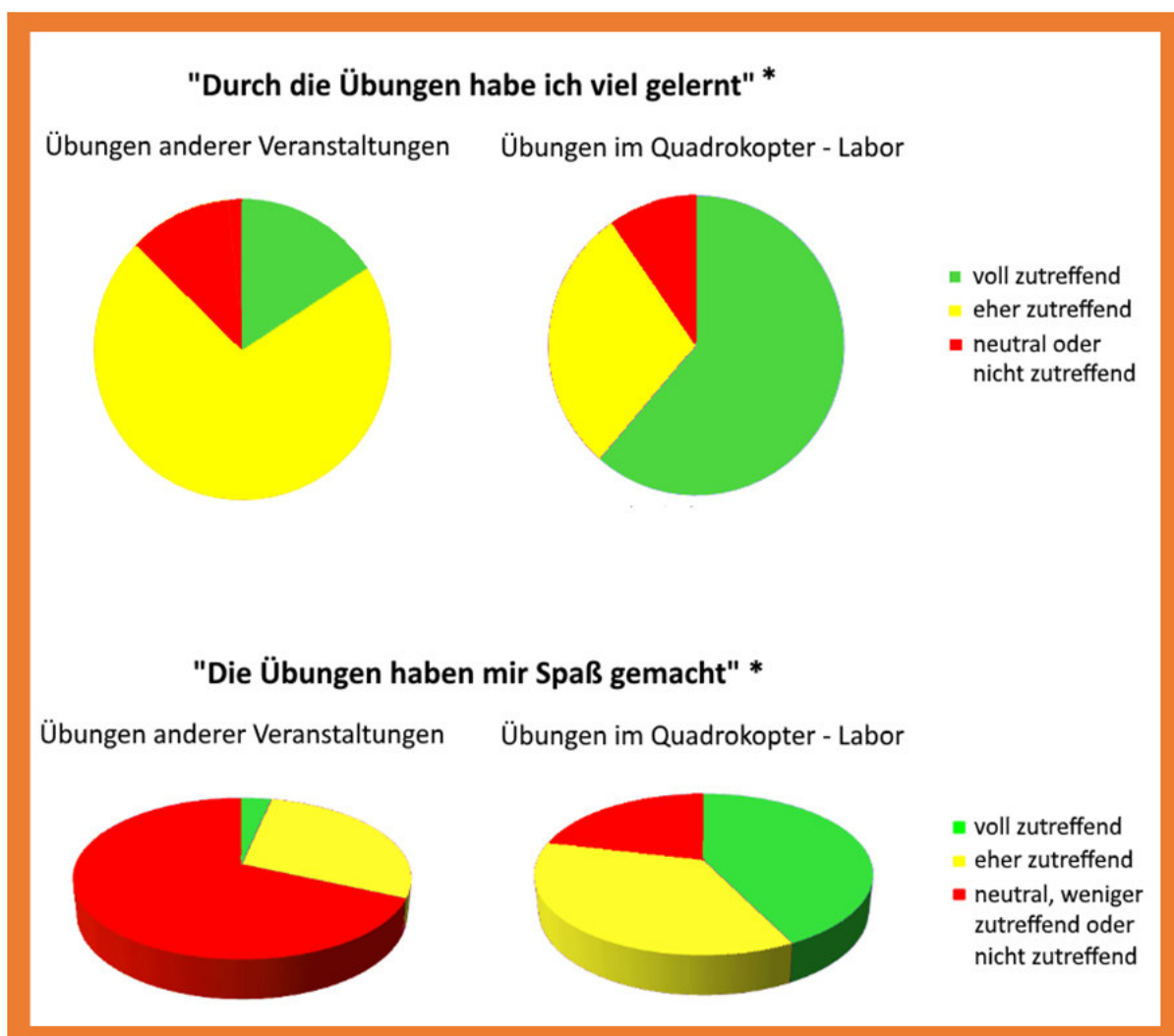
Studierende der Summerschool „Aerospace Information Technology“ 2015 an der Universität Würzburg:

„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):



Das Projekt Embedded Qopter wird im Rahmen des EXIST Programms durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und den Europäischen Sozialfonds gefördert.

Emqopter GmbH
Josef-Martin-Weg 54
97074 Würzburg
Tel.: +49 (0) 931 31 83510
Email: info@emqopter.de
www.emqopter.de



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

eXIST
Existenzgründungen
aus der Wissenschaft

ESF
Europäischer Sozialfonds
für Deutschland



Europäische
Union

Zusammen.
Zukunft.
Gestalten.