



Friedliche Drohne

Sinkende Preise und steigende Leistungen eingebetteter Systeme und der Sensorik sowie die Unterstützung durch die Industrie erlauben es mittlerweile Studierenden, vielfältige Projektideen in die Tat umzusetzen – so beispielsweise das Projekt IFSys (Intelligentes Fliegendes System), innerhalb dessen die Aufgabe besteht, ein UAS (Unmanned Aerial System) zu entwickeln. Das Projekt bietet Studierenden verschiedenster Fachrichtungen die Möglichkeit, das in Vorlesungen gesammelte Wissen in der Praxis anzuwenden und zu vertiefen. Betreut werden sie am Fachgebiet für Flugmechanik, Flugregelung und Aeroelastizität (Prof. Robert Luckner) von den Mitarbeitern Georg Walde und Arndt Hoffmann. Die Studierenden arbeiten dabei entweder in ihrer Freizeit oder im Rahmen von Abschlussarbeiten im Projekt mit. Es stellen sich unterschiedliche Themen wie Flugmechanik, Flugregelung, Leichtbau, Technische Informatik und Elektrotechnik, aber auch Öffentlichkeitsarbeit und Marketing. Ziel ist es, dass das UAV (Unmanned Aerial Vehicle), der fliegende Teil des UAS, automatisch starten, ein Gebiet von etwa 500 m mal 1000 m auf vordefinierten Kursen in einem Suchraster und in einer Höhe zwischen 70 m und 100 m mit einer Geschwindigkeit von 20 m/s für 20 Minuten abfliegen und im Anschluss automatisch landen kann.

Der Flugversuchsträger ALEXIS

Ausgehend von der definierten Mission und den daraus folgenden Anfor-

Flugversuchsträger mit Embedded-PC-Steuerung

Mitarbeiter und Studierende der TU Berlin haben einen unbemannten Flugkörper entwickelt, der elektrisch angetrieben wird und 1 kg Nutzlast mitnehmen kann. Mit an Bord: Ein PC, der Daten über den Flugzustand sammelt und als Autopilot fungieren kann.

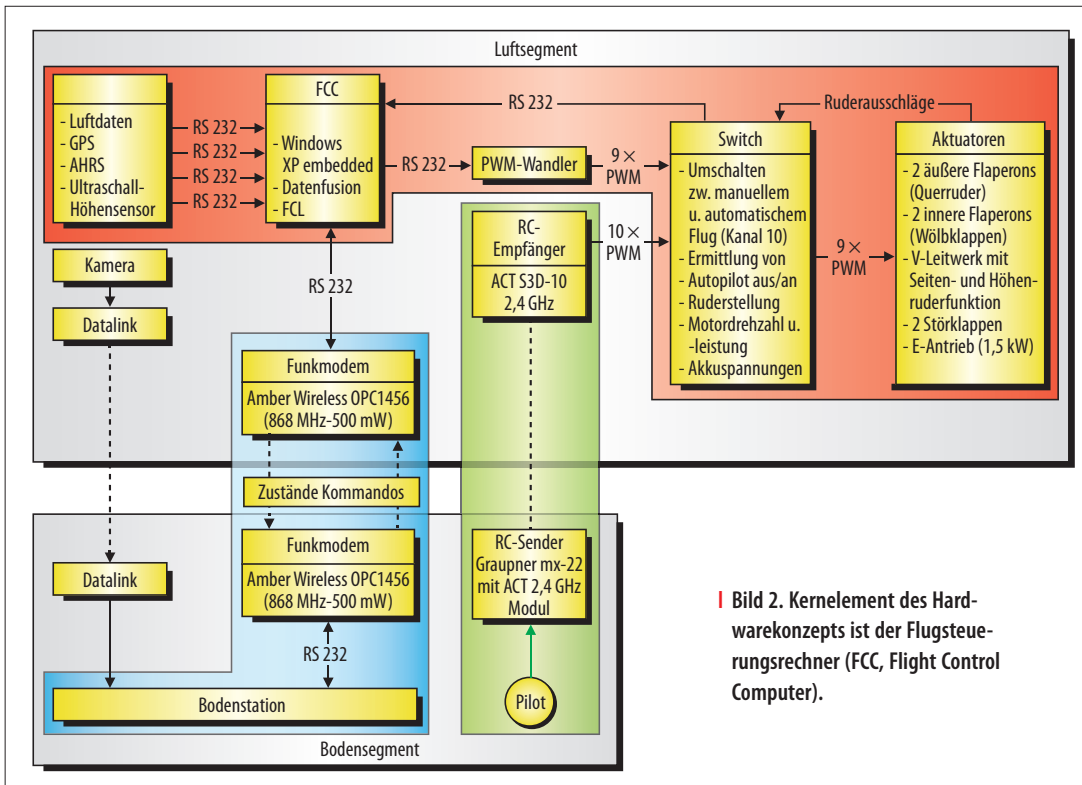
Von Alexander Hamann und Arndt Hoffman

derungen an das Flugzeug, entwarfen die Studierenden den Versuchsträger ALEXIS (Airborne Laboratory for EXperiments on Inflight Systems, **Bild 1**). Dabei handelt es sich um ein druckpropellergetriebenes Flugzeug mit zwei Leitwerksträgern und umgedrehtem V-Leitwerk. Die Spannweite beträgt 4 m, die Abflugmasse liegt ohne Nutzlast bei etwa 11 kg. Vorge-

sehen ist eine Nutzlast von einem kg (z.B. Kamera). Als Antrieb dient ein Elektromotor mit 1,5 kW Leistung. Die gewählte Konfiguration erlaubt eine weitestgehend getrennte Integration von Flugsteuerungssystem in der Rumpfnase, Fernsteuerungssystem und Aktuatorik im Flügel und Leitwerk sowie Antriebssystem im Rumpfheck. Durch die große Flügel-



Bild 1. Der Versuchsträger ALEXIS ist ein druckpropellergetriebenes Flugzeug mit zwei Leitwerksträgern, umgedrehtem V-Leitwerk und einer Spannweite von 4 m. Er kann eine Nutzmasse von 1 kg (z.B. Kamera) tragen.



! Bild 2. Kernelement des Hardwarekonzepts ist der Flugsteuerungsrechner (FCC, Flight Control Computer).

soll unabhängig vom Flugsteuerungssystem betrieben werden. Es besteht jedoch die Möglichkeit, Nutzlasten zu entwickeln, die über eine Schnittstelle mit dem FCC kommunizieren.

Die im Sicherheitskonzept beschriebene Umschaltung zwischen Flugsteuerungs- und Fernsteuerungssystem geschieht über den Switch, ein selbstentwickeltes Bauteil, an das der FCC und der Fernsteuerungsempfänger angeschlossen werden. Über einen Kippschalter am Fernsteuerungssender kann gewählt werden, ob die vom Pilot kommenden oder die vom FCC berechneten Steuerkommandos an die Servos und den Antrieb weitergeleitet werden.

fläche verfügt das Flugzeug über eine geringe Flächenbelastung, was, verbunden mit der starken Motorisierung, unkritische Flugeigenschaften und damit eine gute Beherrschbarkeit erwarten lässt.

Der Rumpf besteht aus glas- und kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff, Flügel und Leitwerke sind aus einem mit Abachiholz beplankten und glasfaserverstärkten Styroporkern aufgebaut.

Um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten, wurde ein Sicherheitskonzept entwickelt, welches einem Piloten ermöglicht, jederzeit per Funkfernsteuerung die Kontrolle über das Flugzeug zu übernehmen. Dadurch können kritische Flugabschnitte wie Start und Landung von dem Piloten durchgeführt und der Flugregler vorerst in sicherer Höhe getestet werden. Verhält sich das Fluggerät anders als erwartet, kann der Pilot die Kontrolle übernehmen und das Flugzeug stabilisieren und sicher landen. Wenn das Flugsteuerungssystem soweit ausgereift ist, dass auch Starts und Landungen automatisch durchgeführt werden können, bleibt der Pilot als Beobachter und zusätzlicher Sicher-

heitsfaktor für unerwartete Ereignisse erhalten. Da das Flugzeug keine Möglichkeit hat, seine Umgebung wahrzunehmen und beispielsweise auf Hindernisse zu reagieren, ist ein solches Konzept für den Betrieb eines UAVs in Deutschland zwingend notwendig.

Hardwarekonzept

Betrachtet man allein die Größe und das Gewicht des Flugzeuges, entsteht leicht der Eindruck, dass es sich lediglich um ein Modellflugzeug mit ungewöhnlicher Konfiguration handelt. Der Unterschied liegt in der Ausstattung des Versuchsträgers: Für automatische Flüge verfügt das Flugzeug über einen Flugsteuerungsrechner (FCC – Flight Control Computer), umfangreiche Sensorik sowie Aktuatorik. Die in Bild 2 dargestellte Hardware kann in drei Bereiche eingeteilt werden: Ein Flugsteuerungssystem (rot), das das Flugzeug im automatischen Flug steuert, ein Fernsteuerungssystem (grün), über das ein Pilot das Flugzeug steuern kann, und eine Bodenstation (blau) mit Funkstrecken zum Flugzeug, über die das System während des Fluges überwacht und beeinflusst werden kann. Desweiteren ist die Nutzlast (z.B. Kamera) mit einer Funkstrecke zur Bodenstation vorgesehen. Diese

Flugsteuerungssystem

Das Flugsteuerungssystem steuert das Flugzeug im automatischen Flug. Kernstück des Systems ist der FCC. Die Firma Advantech stellt dem Projekt dafür 3,5-Zoll-Single-Board-Computer vom Typ PCM-9375 und Erweiterungskarten vom Typ PCM-3643 für vier weitere serielle Schnittstellen zur Verfügung. Damit sind ausreichend Schnittstellen vorhanden, um auf einfache Weise alle im Flugzeug verbauten Sensoren und ein Funkmodem zur Kommunikation mit der Bodenstation anzuschließen. Als Betriebssystem wurde Windows XPe gewählt, welches speziell für eingebettete PC-Anwendungen entwickelt wurde und sich aufgrund der großen Vertrautheit mit Windows für den Einsatz in einem Studierendenprojekt besonders eignet.

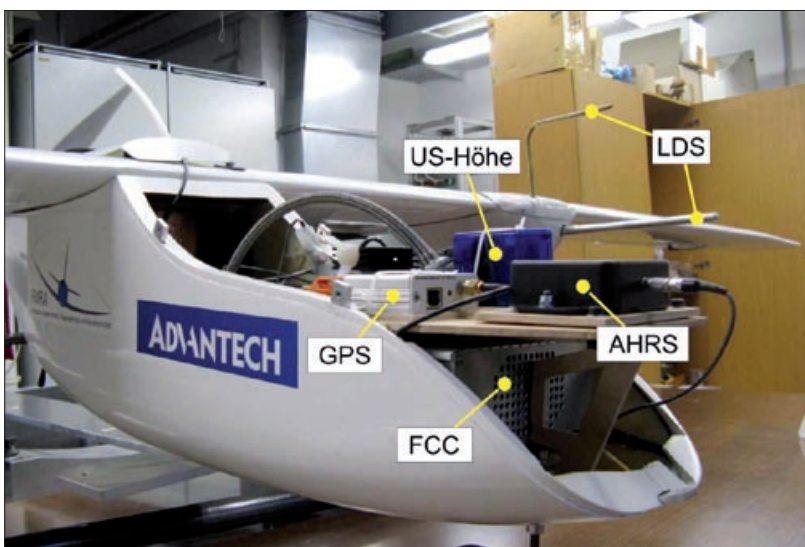
An Bord befinden sich vier Sensoren, die für die Flugregelung relevante Daten an den FCC liefern: Ein GPS-Empfänger ermittelt die Position und Flughöhe, ein AHRS (Attitude Heading Reference System) die Lage, Drehraten und Beschleunigungen des Flugzeuges, ein selbstentwickeltes Luftdatensystem (LDS) mit Prandtl-Rohr und Vierlochsonde die Anströmgeschwindigkeit und -winkel. Zusätz-

SPIRFLAME®
HiSpeed Lötén
 Productronica München
 Halle B3 Stand 208
 Gratisentréit productronica@spirig.com

lich misst ein Ultraschallhöhenmesser (US-Höhe) die genaue Höhe im bodennahen Bereich bis etwa 6 m. Dies ist insbesondere bei Start und Landung wichtig, wenn die Genauigkeit der vom GPS ermittelten Flughöhe nicht ausreichend ist. **Bild 3** zeigt die räumliche Anordnung der Komponenten.

Aus den gemessenen Daten berechnen Flugregelungsalgorithmen auf dem FCC die zum Abfliegen der vorgegebenen Trajektorie passenden Kommandos für die Aktuatoren, die die Ruder bewegen, sowie für den

in Reihe geschalteten, jeweils vierzelligen Lithium-Polymer-(LiPo-) Akku mit 5000 mAh. Das Flugsteuersystem verfügt über einen dreizelligen LiPo-Akku mit 5000 mAh sowie einen Spannungswandler, der die Ausgangsspannung des Akkus auf die für einen Großteil der Sensorik und den FCC benötigten 5 V umwandelt. Der Empfänger und die Aktuatoren werden durch zwei zweizellige LiPo-Akkus mit 2100 mAh versorgt, die durch eine Akkuweiche miteinander verbunden sind. Die Masse dieser fünf Akkus beträgt zusammen 1670 g.



! Bild 3. Unterbringung des Flugsteuersystems im Rumpf.

elektrischen Antrieb. Der Flugregler wurde in Matlab/Simulink entwickelt und mit Real Time Workshop Embedded Coder in C-Code umgewandelt.

Fernsteuerungssystem

Das Fernsteuerungssystem ermöglicht es einem Piloten, mit einem Funkfernsteuerungssender über den im Flugkörper eingebauten Empfänger das Flugzeug manuell zu steuern. Der Empfänger arbeitet in dem im Modellflug mittlerweile üblichen 2,4-GHz-Band und verfügt über zehn Kanäle. Acht dieser Kanäle sind mit Servos zur Ansteuerung der Ruder belegt, ein weiterer Kanal mit der Steuerung des Motors, und der verbleibende Kanal dient zur Umschaltung zwischen automatischer und manueller Steuerung.

Im vollständig ausgerüsteten Versuchsträger sind drei voneinander getrennte Stromkreise vorhanden: Der Antrieb bezieht seine Energie aus zwei

Die Bodenstation dient zur Überwachung des Fluges vom Boden. Aktuell werden regelmäßig Datensätze per Funkmodem an eine einfache Bodenstation gesendet. Diese besteht aus einem Notebook mit Funkmodemempfänger. Dort können die empfangenen Sensordaten (Höhe, Geschwindigkeit, Position, Lage etc.) am Boden abgelesen und bewertet werden. In Zukunft wird die Bodenstation um einige weitere Funktionen erweitert. Neben der reinen Anzeige der gemessenen Daten wird es möglich sein, Einfluss auf den Kurs zu nehmen, neue Wegpunkte zu setzen, dem Flugzeug eine neue Fluggeschwindigkeit oder Flughöhe vorzugeben oder den Flug abubrechen und das Flugzeug zur Landebahn zurückkehren zu lassen. Zusätzlich sollen von einer Nutzlast gesendete Daten, wie etwa die Bilder einer Kamera, von der Bodenstation empfangen und weiterverarbeitet werden können.

PICO

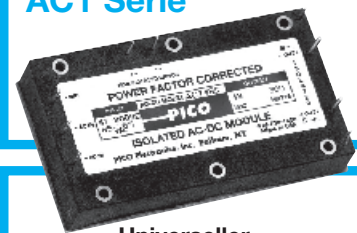
Wechselstrom-Gleichstrom-Umrichter

Blindleistungskompensation
5–300 V Gleichspannung
Isolierter Gleichspannungsausgang

Geringe Kosten
Industriell

Bis zu
300
WATT

Zwei Einheiten in einem
AC1 Serie



Universeller
Wechselspannungseingang
47-400Hz
Eingangsfrequenz

- **STANDARD:** 5 bis 300 V Gleichspannung reguliert, ISOLIERTE Ausgänge/feste Frequenz
- **KOMPLETTES,** kompaktes Full Brick-Modul, 2,5 x 4,6 x 0,8 Zoll, vakuumgekapselt zur Verwendung in rauen Umgebungen
- Geringere Kosten für industrielle Anwendungen
- Designmaximierung bis zu 300 Watt-Modelle
- Erfüllt Spezifikationen für harmonische Verzerrung
- Leistungsfaktor von 0,99 auf Betriebsniveau
- Erweiterte Betriebstemperaturen erhältlich -40 und -55 °C, +85 und 100 °C Basisplatte
- Anwendungsspezifische Modelle erhältlich

www.picoelectronics.com

PICO Electronics, Inc.

143 Sparks Ave. Pelham, N.Y. 10803
E Mail: info@picoelectronics.com
www.picoelectronics.com

Vertretungen Deutschland
ELBV/Elektronische Bauelemente Vertrieb
info@elbv.de

Telefon: 0049 (0)89 4602852
Fax: 0049 (0)89 46205442

England

Ginsbury Electronics Ltd.
rbennett@ginsbury.co.uk
Telefon: 0044 1634 298900
Fax: 0044 1634 290904

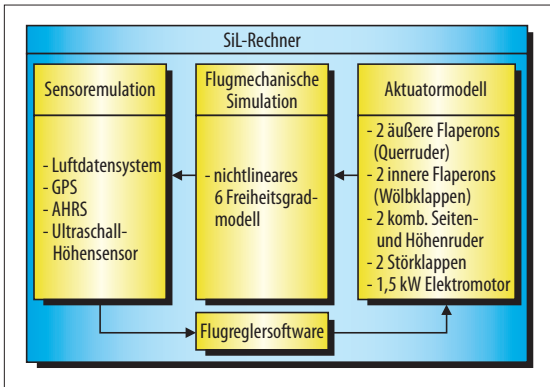


Bild 4. Konfiguration des Software-in-the-Loop-Tests.

Die praktische Flugerprobung

Zum aktuellen Zeitpunkt steht ein komplett ausgerüsteter Versuchsträger für ferngesteuerte Flüge mit Sensordatenaufzeichnung bereit. Damit wurden im Frühjahr erfolgreiche Flugtests durchgeführt. Die Flüge fanden auf einem Modellflugplatz mit einer etwa 110 m langen Graspiste statt. Um das

Risiko für die Hardware gering zu halten, wurde zunächst mit leerem Flugversuchsträger, das heißt ohne Flugsteuerungssystem und damit 2200 g geringerer Abflugmasse, geflogen (siehe Aufmacherfoto zu Beginn dieses Beitrages). Ziel dieser Flüge war es, die Einstellungen bezüglich Schwerpunktlage und Ruderausschlägen zu überprüfen und sich mit den Flugeigenschaften vertraut zu machen. Nach der erfolgreichen Landung wurde das Flugzeug mit Flugrechner und Sensorik ausgerüstet und erneut gestartet.

Bei diesem Flug wurden erstmals Sensordaten im Flug auf dem FCC aufgezeichnet, der dabei seine Funktionstüchtigkeit unter realen Flugbedingungen unter Beweis stellen konnte. Nun sollen weitere Flüge in dieser Konfiguration stattfinden, bei denen ein definiertes Flugprogramm durchgeführt wird, welches Rückschlüsse auf flugmechanisch interessante Größen wie Minimalgeschwindigkeit mit

und ohne ausgefahrene Klappen, maximale Steigrate oder Maximalgeschwindigkeit im Horizontalflug zulässt, sowie um das System unter realen Bedingungen zu testen.

Die Testflüge zeigten, dass das Flugzeug mit der aktuellen Ausrüstung über sehr unkritische Flugeigenschaften verfügt. Es lässt sich bei Einsatz der Wölbklappen sehr langsam fliegen, was besonders bei Start und Landung wichtig ist. Bedenken bezüglich der Mitnahme einer Nutzlast von bis zu einem Kilogramm Masse bestehen daher nicht.

Soft- und Hardwaretests

Bevor automatische Flüge unternommen werden, wird der in Matlab/Simulink entwickelte Flugregler ausführlichen Tests unterzogen. Dazu sollen zunächst Software-in-the-Loop-Tests (SiL) durchgeführt werden (Bild 4). Bei diesen Tests wird die Flugregelungssoftware in eine Flugsimulation eingebunden. Die Software erhält zu den jeweiligen Flugzuständen passende simulierte Sensorwerte, anhand derer sie Steuerkommandos berechnet und an die flugmechanische Simulation zurückliefert. Dieses Verfahren ermöglicht mit vergleichsweise geringem Aufwand einen ausführlichen Test der Flugregelungssoftware.

Um von der modellbasierten Auslegung immer näher an das reale System herangeführt zu werden, wird im nächsten Schritt Hardware in diese Testumgebung eingebunden. Dies geschieht in Hardware-in-the-Loop-Tests (HiL). Bei diesen Tests laufen die Flugregelungsalgorithmen auf dem realen FCC der Firma Advantech. Für den Rechner wird durch eine S/W-Umgebung der Eindruck geschaffen, er befände sich im Flugzeug. Damit kann das System gefahrlos unter realitätsnahen Bedingungen getestet werden (Bild 5).

Parallel zu der eben beschriebenen Realisierung wird an zwei weiteren Flugversuchsträgern gearbeitet („ALEXIS_{ev0}“). Flügel, Leitwerke und Rumpf liegen bereits rohbaufertig vor. Während die äußere Form des Flugzeuges beibehalten wird, wird es bei der Hardware und deren Integration Änderungen im Vergleich zum ersten Versuchsträger geben. In diesem wurden der Flugrechner, die einzelnen

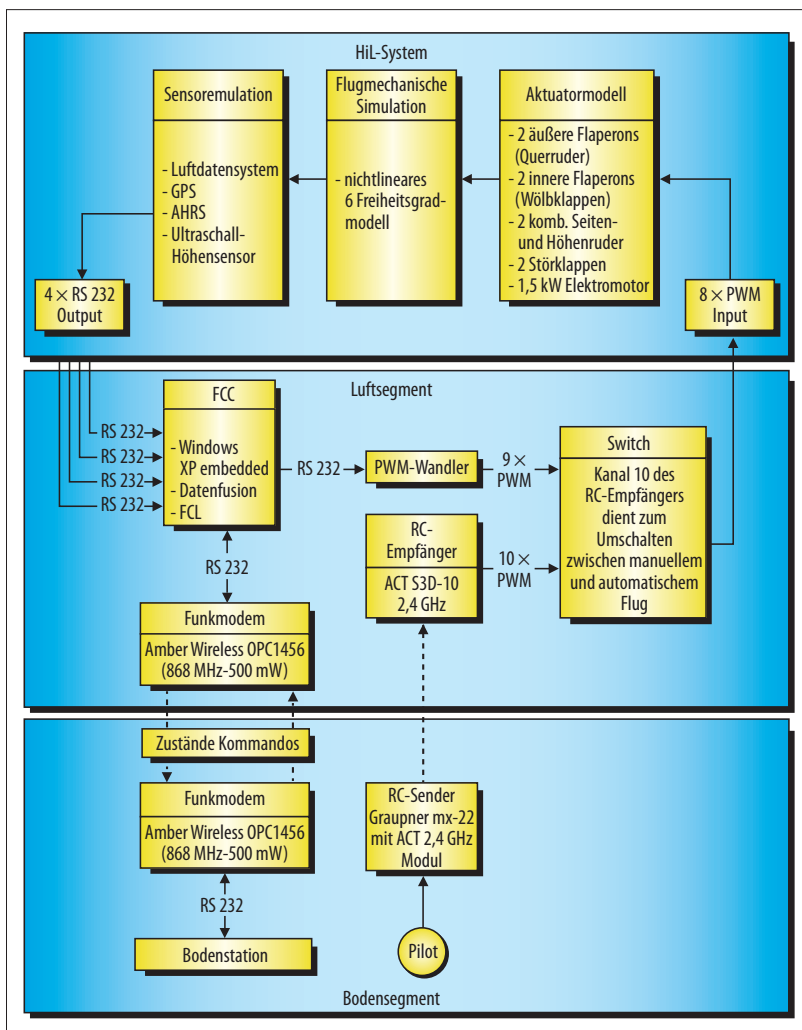


Bild 5. Konfiguration beim Hardware-in-the-Loop-Test.



! Bild 6. Das IFSys-Team kurz vor dem erfolgreichen Erstflug.

Sensoren und die Spannungswandler für jeden Sensor einzeln im Rumpf untergebracht und verkabelt. Dieser Aufbau erwies sich als relativ anfällig für elektromagnetische Störungen. Es wurden große Anstrengungen unternommen, um die auf engem Raum eingebaute Hardware so voneinander abzuschirmen, dass die Reichweite des Fernsteuerungssystems letztlich für Testflüge ausreichte. Hauptverursacher der Störungen war dabei das selbst gebaute Netzteil des Flugsteuerungssystems. Bei den Nachfolgern kommt deshalb ein neues Stromversorgungsmodul vom Typ PCM-3910 von Advantech zum Einsatz, welches direkt auf die Rechnerplatine gesteckt wird. Im gleichen Gehäuse wird eine Platine untergebracht, die neben der Funktion des Switches auch die Spannungswandlung übernimmt, zusätzliche relevante Daten wie Ruderausschläge, Akkuspannungen und Motordrehzahl ermittelt und an den Flugrechner liefert. Diese Bündelung der Komponenten verspricht durch weniger Kabel und Steckverbindungen ein wesentlich einfacheres und schnelleres Aufrüsten des Flugzeuges, sowie

durch die Unterbringung in einem einzigen Gehäuse eine bessere Abschirmung gegenüber dem Fernsteuerungssystem. Gleichzeitig wird der im Rumpf vorhandene Raum effizienter genutzt, so dass mehr Platz für die Unterbringung einer Nutzlast (z.B. Kamera zum Aufzeichnen des Geländes oder für Suchzwecke) vorhanden ist.

Letztlich bietet sich durch das modular aufgebaute System den Studierenden (Bild 6 zeigt das IFSys-Team kurz vor dem erfolgreichen Erstflug) ein breites Spektrum von Tätigkeitsgebieten. So kann das Flugzeug in Zukunft als Plattform zur Unterbringung verschiedenster Nutzlasten eingesetzt werden, es können andere Sensoren verwendet oder innovative Flugregelungskonzepte nicht nur in der Simulation getestet, sondern auch in die Praxis umgesetzt werden.

Durch die praxisbezogene Mitarbeit im Projekt lernen die Studierenden den souveränen Umgang mit eingebetteten Systemen, schulen ihre Teamfähigkeit durch interdisziplinäre Zusammenarbeit in einer Gruppe und bekommen einen grundlegenden Einblick ins Projektmanagement. *ha*



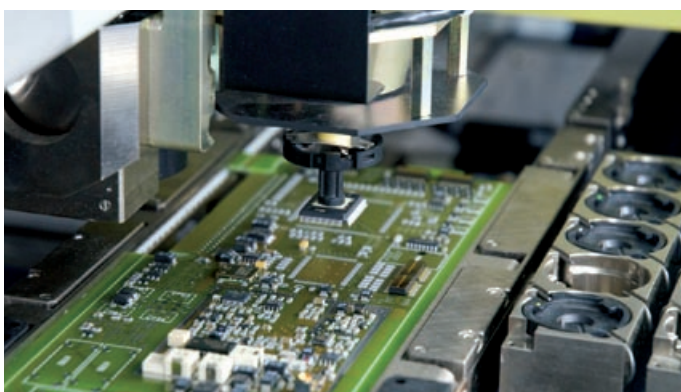
Alexander Hamann

studiert seit 2005 an der Technischen Universität Berlin Luft- und Raumfahrt. Im Jahr 2009 begann er seine Tätigkeit als studentischer Mitarbeiter im Studierendenprojekt IFSys. Zunächst zuständig für Entwicklung, Betrieb und Wartung, übernahm er 2010 die Projektleitung. Zusätzlich übernimmt er die Aufgabe des Sicherheitspiloten.



Arndt Hoffmann

wurde 1978 geboren und studierte Luft und Raumfahrttechnik an der TU Braunschweig sowie an der University of Glasgow. Er schloss das Studium 2005 mit dem Diplom ab. Seine Diplomarbeit schrieb er am Institut für Luftfahrtsystemtechnik des DLR in Braunschweig. Seit März 2005 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Luft- und Raumfahrt der TU Berlin im Fachgebiet für Flugmechanik, Flugregelung und Aeroelastik. Dort sind seine Arbeitsschwerpunkte neben der Lehre (Methoden der Regelungstechnik, Flugregelung) die UAV-Projekte IFSys und LAPAZ.



Lösungen für Ideen

ELEKTRONIK-ENTWICKLUNG

ELEKTRONIK-FERTIGUNG

KABEL-KONFEKTIONIERUNG

 productronica 2011 Besuchen Sie uns! Stand 131, Halle B1

ROB-HOLDING AG · Am Wolfsbaum 1 · 75245 Neulingen
 Telefon +49 7237 430-1000 · Telefax +49 7237 430-1099
 www.rob-group.com

