Lehre einmal anders, das Studierendenprojekt IFSys

Sinkende Preise und steigende Leistungen eingebetteter Systeme sowie der Sensorik und die Unterstützung durch die Industrie erlauben es mittlerweile Studierenden ihre Projektideen in die Tat umzusetzen. An der Technischen Universität Berlin am Institut für Luft- und Raumfahrt haben sich Studierende im Projekt IFSys (***I**ntelligentes **F**liegendes **Sys**tem*) zusammengefunden um ein UAS (***U**nmanned **A**erial **S**ystem)* 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) insbesondere von den Mitarbeitern Georg Walde und Arndt Hoffmann. Die Studierenden arbeiten dabei entweder in ihrer Freizeit, oder im Rahmen von Abschlussarbeiten im Projekt mit. Dabei bietet sich ein breites Aufgabenspektrum, von stark flugzeugbezogenen Themen wie Flugmechanik, Flugregelung oder Leichtbau, über die Technische Informatik, Elektrotechnik, bis hin zu Öffentlichkeitsarbeit und Marketing.

Das erklärte Ziel ist es, dass das UAV (**U**nmanned **A**erial **V**ehicle), der fliegende Teil des UAS, automatisch starten, die in Abbildung 1 dargestellte Trajektorie abfliegen und im Anschluss automatisch landen kann. Zwischen Start und Landung soll es in einer Höhe von 70 bis 100 m mit einer Geschwindigkeit von 20 m/s für 20 min. ein Suchraster abfliegen.

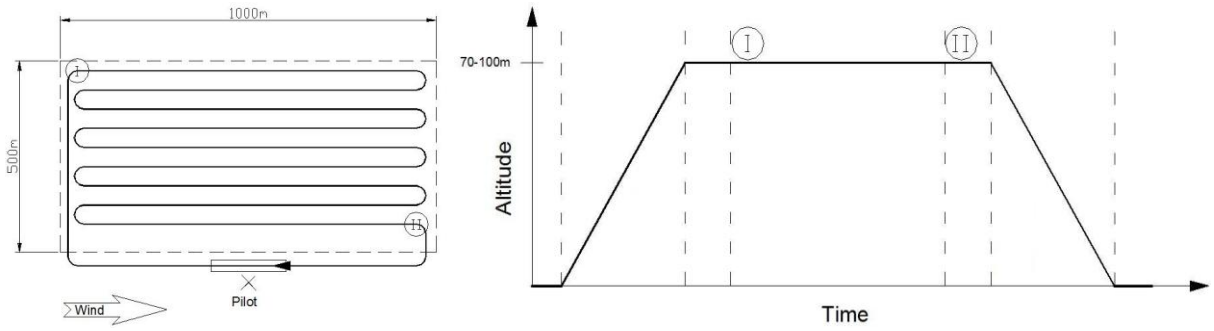

Abbildung 1: Trajektorie

Der Flugversuchsträger ALEXIS

Ausgehend von der definierten Mission und den daraus folgenden Anforderungen an das Flugzeug, entwarfen die Studierenden den Versuchsträger ALEXIS (***A**irborne **L**aboratory for **EX**periments on **I**nflight **S**ystems*).

Abbildung 2: Der Versuchsträger ALEXIS

Wie in Abbildung 2 und Abbildung 3 zu erkennen ist, handelt sich dabei um ein druckpropellergetriebenes Flugzeug mit zwei Leitwerksträgern und umgedrehten V-Leitwerk. Die Spannweite beträgt 4 m, die Abflugmasse liegt ohne Nutzlast bei etwa 11 kg. Vorgesehen ist eine Nutzlast von einem Kilogramm, beispielsweise für die Unterbringung einer Kamera. Angetrieben wird es von einem 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 Flügelfläche verfügt das Flugzeug über eine geringe Flächenbelastung, was verbunden mit der starken Motorisierung unkritische Flugeigenschaften und damit eine gute Beherrschbarkeit erwarten lässt.

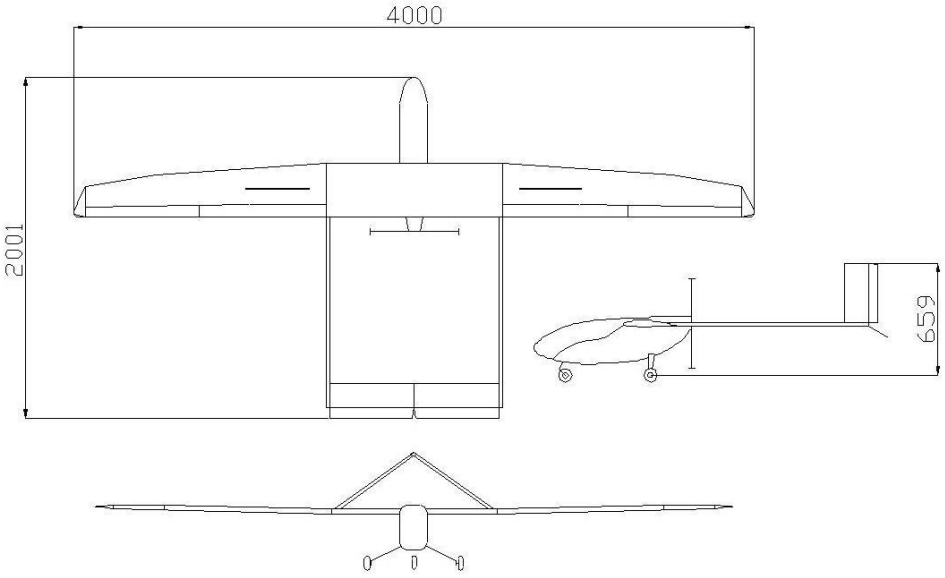

Abbildung 3: Dreiseitenansicht von ALEXIS

Für die Zelle wurde eine im Modellbau weit verbreitete Bauweise gewählt: Der Rumpf besteht aus glas- und kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff, Flügel und Leitwerke sind aus einem mit Abachiholz beplankten und glasfaserverstärkten Styroporkern aufgebaut.

Sicherheitskonzept

Um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten wurde ein Sicherheitskonzept entwickelt, welches es einem Piloten über eine Funkfernsteuerung ermöglicht, jederzeit 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 Sicherheitsfaktor 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 – ***F****light* ***C****ontrol* ***C****omputer*), umfangreiche Sensorik, sowie Aktuatorik. Die in Abbildung 4 dargestellte Hardware kann in drei Bereiche eingeteilt werden: Ein Flugsteuerungssystem (rot), dass 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 eine Nutzlast (z.B. Kamera) mit einer Funkstrecke zur Bodenstation vorgesehen. Diese soll unabhängig vom Flugsteuerungssystem betrieben werden. Es besteht jedoch die Möglichkeit Nutzlasten zu entwickeln, die über eine Schnittstelle mit dem FCC kommunizieren.

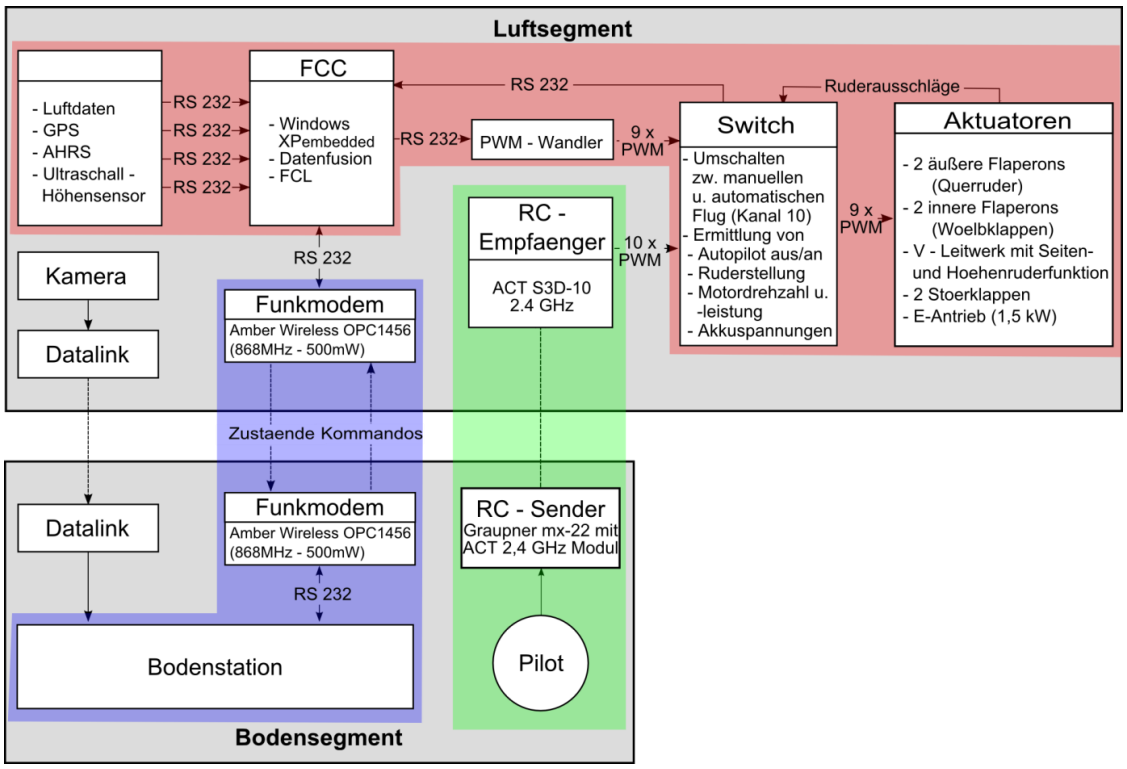

Abbildung 4: Hardwarekonzept

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.

Flugsteuerungssystem

Das Flugsteuerungssystem steuert das Flugzeug im automatischen Flug. Kernstück des Systems ist der FCC. Die Firma ADVANTECH stellt dem Projekt dafür 3,5“ – 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 (***A**ttitude **H**eading **R**eference **S**ystem*) die Lage, Drehraten und Beschleunigungen des Flugzeuges, ein selbstentwickeltes Luftdatensystem (LDS) mit Prandtl – Rohr und Vierlochsonde die Anströmgeschwindigkeit und –winkel. Zusätzlich 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.

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

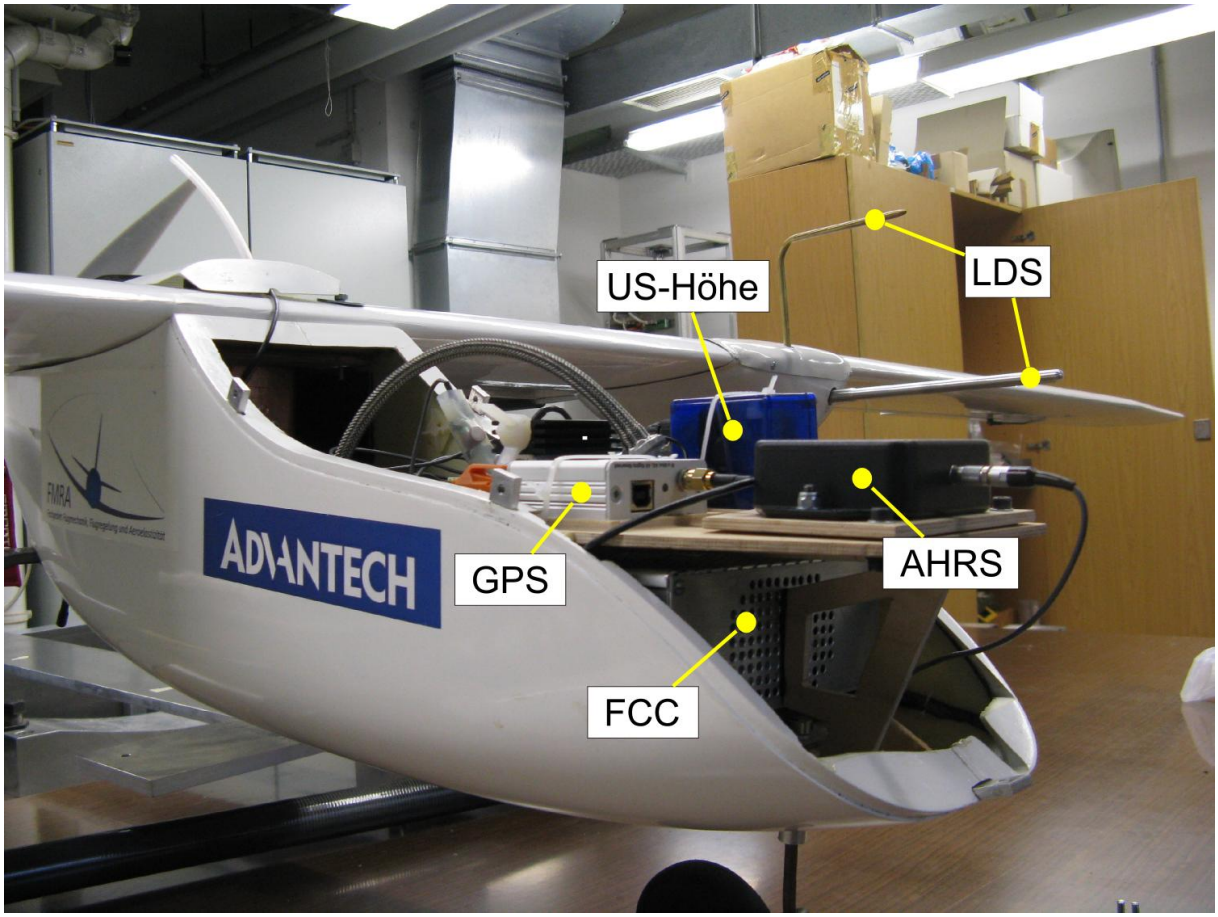

Abbildung 5: Unterbringung des Flugsteuerungssystems im Rumpf

Fernsteuerungssystem

Das Fernsteuerungssystem ermöglicht es einem Piloten anhand eines Funkfernsteuerungssender, sowie eines zugehörigen Empfänger das Flugzeug manuell zu steuern. Der Empfänger arbeitet in dem im Modellflug mittlerweile üblichen 2,4 GHz – Band und verfügt über 10 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.

Stromversorgung

Im vollständig ausgerüsteten Versuchsträger sind drei voneinander getrennte Stromkreise vorhanden: Der Antrieb bezieht seine Energie aus zwei in Reihe geschalteten, jeweils vierzelligen Lithium-Polymer (LiPo) - Akkus mit 5000 mAh. Das Flugsteuerungssystem verfügt über einen dreizelligen LiPo-Akku mit 5000 mAh, sowie einem 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.

Bodenstation

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 Funkmodemempfangsteil. 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 abzubrechen 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.

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, dass heißt ohne Flugsteuerungssystem und damit 2200 g geringerer Abflugmasse, geflogen. Ziel dieser Flüge war es, die Einstellungen bezüglich Schwerpunktlage und Ruderausschläge 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.

Abbildung 6: Start von ALEXIS

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 Hardwartests

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 (Abbildung 7). 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.

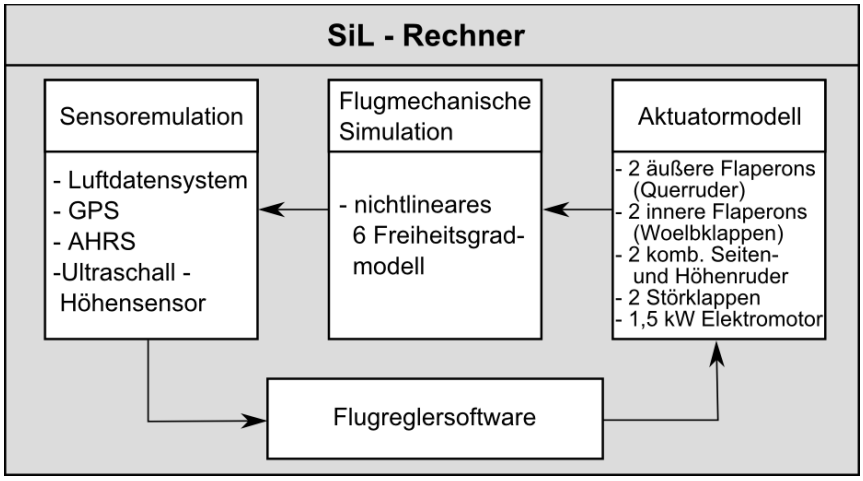

Abbildung 7: Software- in-the-loop-Test

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 (Abbildung 8).

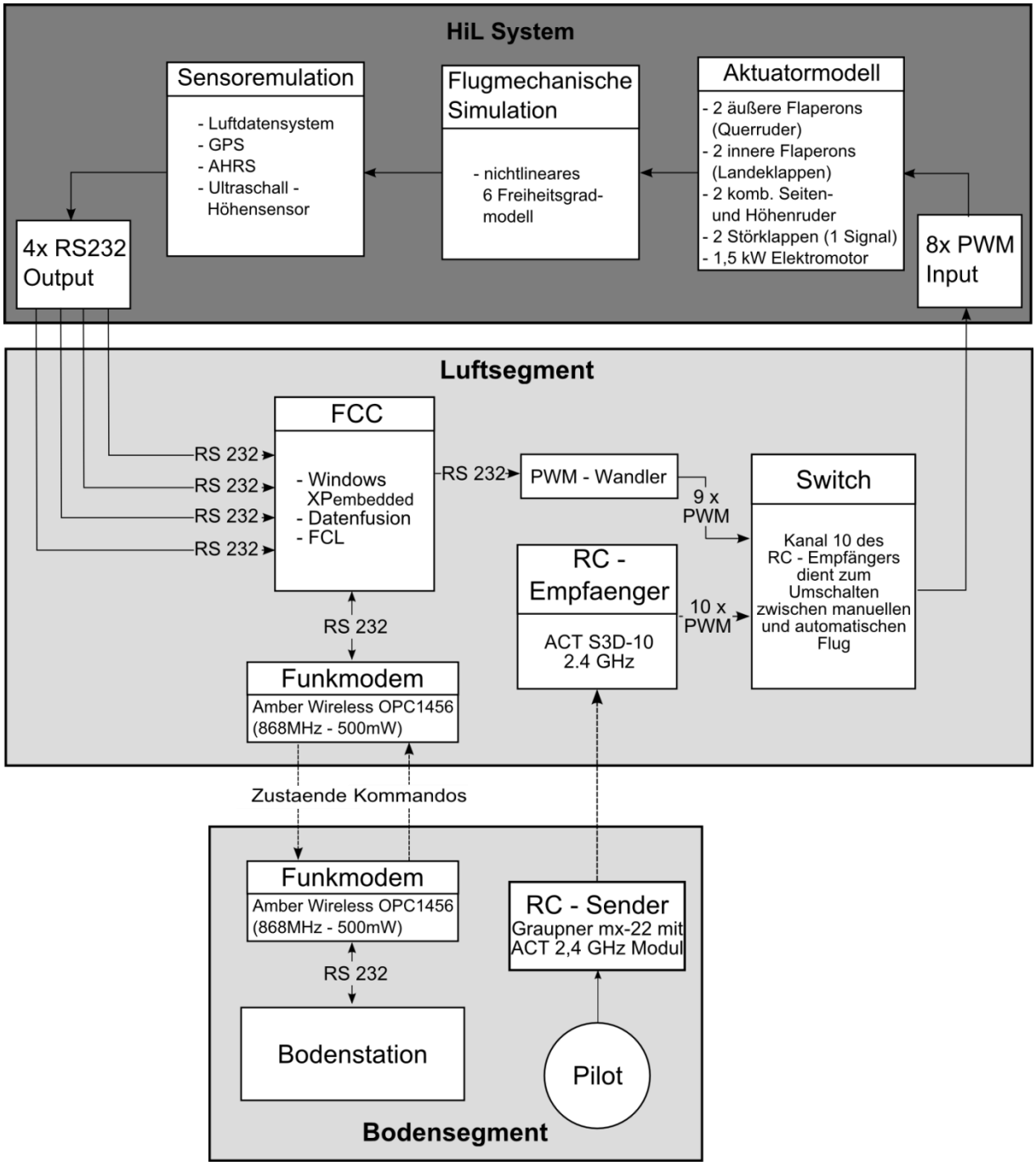

Abbildung 8: Hardware-in-the-loop-Test

ALEXIS$_{evo}$

Parallel wird an zwei weiteren Flugversuchsträgern gearbeitet. 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 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 vorhanden ist.

Mehr Praxis in der Uni

Ein Beispiel für eine solche Nutzlast ist eine Kamera, die das Gelände unter dem Flugzeug aufzeichnet. Als Abstraktion eines Seerettungseinsatzes, bei dem das UAV Luftbilder liefert und damit die Rettungsmannschaften beim Finden von in Seenot geratener Personen unterstützt, könnte man die zu Projektbeginn definierte Mission um das Auffinden einer roten Kiste Bier in einer grünen Wiese erweitern.

Durch das modular aufgebaute System bietet sich interessierten Studierenden 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 der 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 Projektmanagment.

Abbildung 9: Das IFSys-Team kurz vor dem erfolgreichen Erstflug.