

Blade Runner

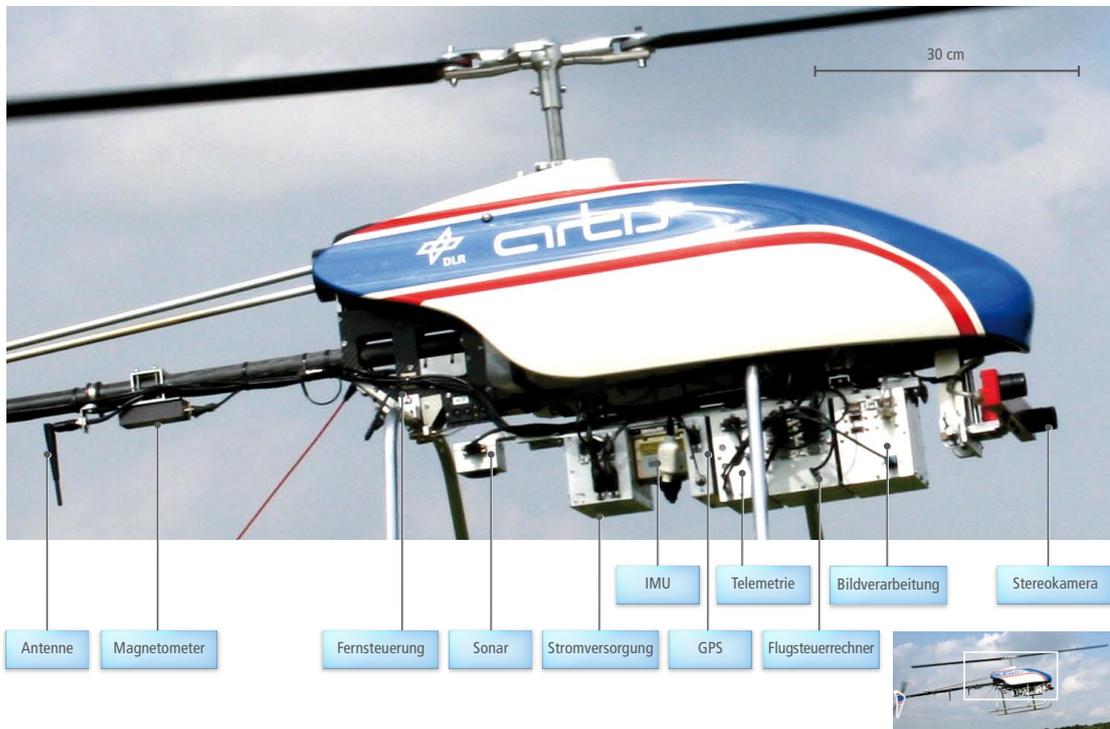
Entwicklung und Test autonomer, intelligenter Luftfahrzeuge



Als Philip K. Dick den *Blade Runner* ersann, trug die Story noch den Namen *Träumen Androiden von elektrischen Schafen?*. Für die Blade Runner ARTIS und Prometheus, beides unbemannte Forschungsflugzeuge des DLR Braunschweig, lässt sich diese Frage eindeutig beantworten: Sie träumen von ihren Flugversuchsgeländen und sie träumen von möglichen und, besonders spannend, heute noch unmöglichen Missionen.



Prometheus, das jüngste Mitglied der UAV-Forschungsflotte des Instituts für Flugsystemtechnik.



Die vom DLR entwickelten Forschungs-UAVs (hier ARTIS) beinhalten eine Vielzahl von Bordsystemen. Diese dienen u.a. zum Stabilisieren, zum Fliegen auf vorgegebenen Trajektorien und für automatisches Starten und Landen.

Mission Impossible

Dangerous, dirty, dull, also gefährlich, schmutzig oder stumpfsinnig sind die Missionen, die im Fokus der Forscher des DLR-Instituts für Flugsystemtechnik stehen. Nur solche Missionen rechtfertigen den Aufwand, der mit der Entwicklung unbemannter Luftfahrzeuge verbunden ist. Für andere Missionen ist der menschliche Pilot nach wie vor die erste Wahl und wird auch weiterhin die Hand am Steuerknüppel haben. Wo es aber um ein Eintauchen in die Hinderniskulisse geht, um Aufklären in Katastrophenszenarien, um Fliegen unter extremen Bedingungen mit hohem Risiko oder um ermüdende Relais- oder Inspektionseinsätze, können unbemannte Luftfahrzeuge (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) ihre Stärken ausspielen. Theoretisch. Praktisch können heutige unbemannte Luftfahrzeuge vorgeplante Wegpunkte abfliegen, einige auch automatisch starten oder landen. Im allgemeinen Luftraum operieren hingegen kann und

darf in Deutschland kein einziges UAV. Es fehlt ihnen ganz einfach bisher an der Möglichkeit, ihre Umwelt wahrzunehmen und angemessen auf sie zu reagieren.

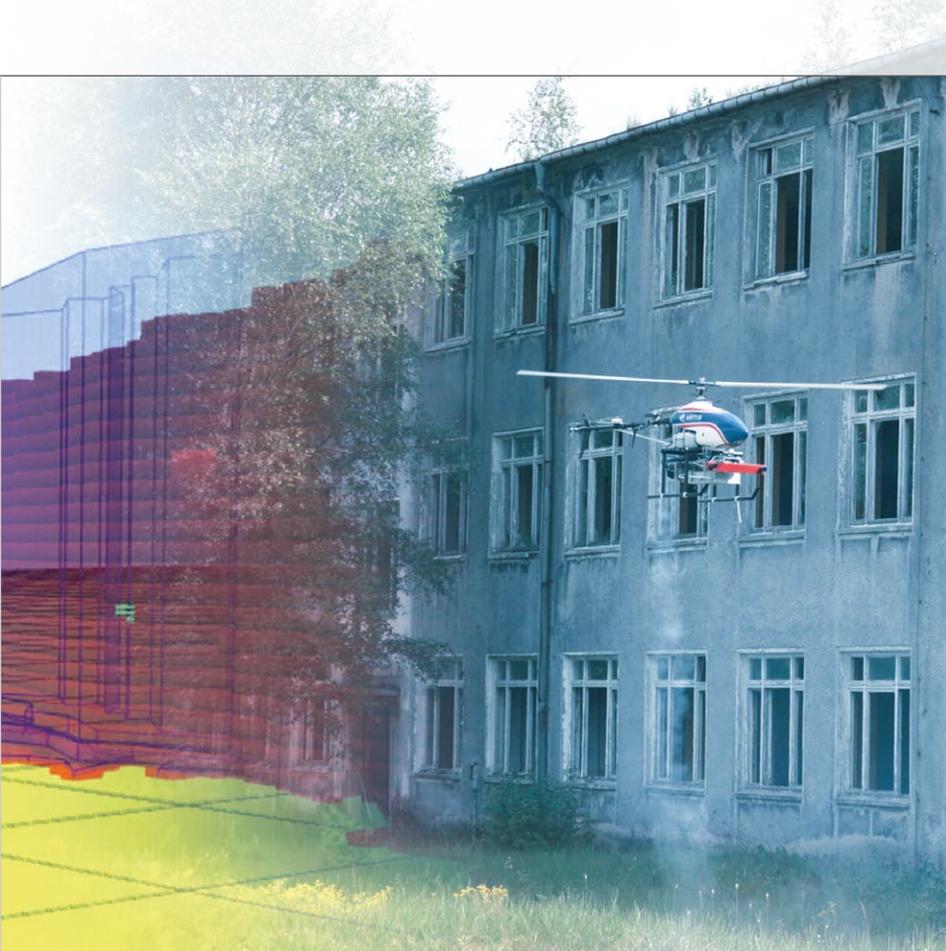
Künstliche Sinnesorgane

Hier beginnt die Forschungsarbeit. Um die UAV mit Umweltwahrnehmung auszustatten, wird zusätzliche Ausstattung benötigt, bildgebende Sensorik zum Beispiel, zur zweidimensionalen oder besser noch dreidimensionalen Erfassung der Umgebung. Kameras, Radar oder Laserscanner sind hierfür geeignet. Diese Sensordaten müssen in Echtzeit weiterverarbeitet werden, damit die Ergebnisse für die Flugsteuerung überhaupt von Nutzen sein können. Ein Entscheidungssystem oder Missionsmanager muss entwickelt werden, der die Umweltdaten, aber auch UAV-spezifische Daten entgegennimmt und darauf basierend Optionen prüft, Entscheidungen fällt, gegebenenfalls auch Flugwege umplant oder im

Notfall die Mission abbricht. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an den Flugregler, besonders dessen Präzision und dessen Fähigkeit, die maximalen Flugleistungen des Luftfahrzeuges auszureizen.

Flugfähige Forschungsplattform

Doch bevor man sich diesen anspruchsvollen Aufgaben widmen kann, muss zunächst einmal eine passende Forschungsplattform und -infrastruktur geschaffen werden. Bei der Marktsichtung zur Auswahl eines geeigneten Experimentalträgers stellt man schnell fest, dass man mit einem Kaufsystem die speziellen Anforderungen der Forschung nicht erfüllen kann. Die Kombination spezieller, leistungsfähiger, modularer Sensoren und Rechner, offener Schnittstellen und einfacher Programmierbarkeit lässt sich nur durch eine Eigenentwicklung herstellen. So lassen sich auch Forderungen nach hoher Nutzlast, einfacher Handhabbarkeit, der Berücksichtigung von Zulassungs-



Umweltwahrnehmung und Kartenerstellung in Echtzeit bei vollautomatischem Flug durch unbekanntes Terrain.

aspekten und Kundenerwartungen berücksichtigen. Basissystem, Messtechnik, Bordelektronik und Flugsteuerrechner lassen sich so optimal aufeinander abstimmen.

Technikkomponenten

Die entwickelten Forschungsplattformen beinhalten Flugsteuerrechner, verschiedene Datenfunkgeräte, ein hochpräzises GPS-Empfangssystem, einen dreiachsigen Beschleunigungs- und Drehratensensor sowie ein Sonar für die Höhenmessung über Grund. Dazu kommt noch ein dreiachsiges Magnetometer. All diese Module werden benötigt, um die unbemannten Luftfahrzeuge zu stabilisieren, auf vorgegebenen Trajektorien zu fliegen sowie automatisch starten und landen zu können. Die einzelnen Vehikel tragen alle die gleichen Sensoren und Steuerrechner. Drei Hubschrauber (midiARTIS, meARTIS und maxiARTIS) verwirklichen unterschiedliche Antriebskonzepte: Zweitaktmotor, Elektroantrieb und Turbine.

Der Rotorkreisdurchmesser beträgt zwei bis drei Meter, das maximale Abfluggewicht 25 kg. Prometheus dagegen ist ein druckpropellergetriebenes Flugzeug mit Doppelleitwerk. Durch diesen Flugpark können sowohl Aufgaben bearbeitet werden, die kleinräumige, hochpräzise Navigation erfordern, als auch solche, die großer Reichweite und hoher Fluggeschwindigkeit bedürfen.

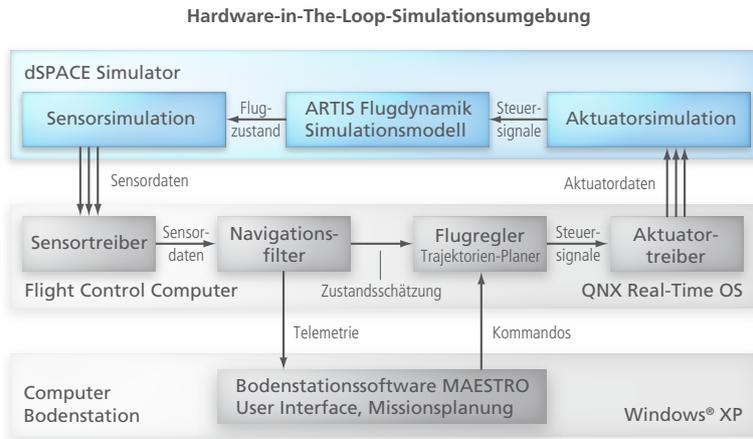
Mathematische Beschreibung des Flugverhaltens

Parallel zum Aufbau eines real fliegenden Systems muss man auch eine mathematische Beschreibung des flugmechanischen Systemverhaltens entwickeln. Dies ist die Grundlage für die Entwicklung des Flugreglers, der das Luftfahrzeug automatisch stabilisiert und zu Wegpunkten steuert. Physikalische Zusammenhänge und Vorwissen (z. B. aus Windkanaldaten) werden zu einem Simulationsmodell des Fluggeräts kombiniert. Die Parameter dieses Modells können

Autonomes UAV ARTIS

Am DLR-Institut für Flugsystemtechnik in Braunschweig wird auf der Basis eines Modellhubschraubers der Flugversuchsträger ARTIS (Autonomous Rotorcraft Testbed for Intelligent Systems) entwickelt. Ziel des Projektes ist es, neuartige Systeme und Algorithmen für autonome, intelligente Funktionen zu untersuchen und im Experiment zu bewerten. Neben Bordrechner und Datenlink ist ARTIS mit diversen Sensoren, wie zum Beispiel Satellitennavigation (GPS), Inertialplattform und Magnetometer, ausgestattet. Von zentraler Bedeutung ist zusätzlich der Einsatz von abbildenden Sensoren, z. B. Videokameras. Wichtige Forschungsschwerpunkte sind, neben fortschrittlichen Flugregelungs- und Flugführungskonzepten, Funktionen zur maschinellen Entscheidungsfindung, Kollisionsvermeidung sowie zur Kooperation von mehreren Flugsystemen. Durch den Einsatz von Echtzeit-Bildverarbeitungssystemen werden auch Experimente zu optisch gestützter Navigation und Umgebungswahrnehmung ermöglicht.

genau bestimmt werden, indem man das real fliegende System mit den gleichen Steuereingaben beaufschlagt wie das Modell, bei beiden die Reaktionen aufzeichnet und die Differenz dieser Reaktionen durch Verstellen der Modellparameter minimiert. Lässt sich keine genügende Übereinstimmung von Modell und realem Verhalten erzielen, kann in einem iterativen Prozess das Modell erweitert oder verfeinert werden. Das Resultat ist eine präzise, numerisch und analytisch



Weil das dSPACE System sämtliche Sensordaten simuliert, erleben die UAVs den simulierten Flug im Labor genauso wie einen realen.

lassen sich auf diese Weise nicht überprüfen. Hier bot ein dSPACE System die Möglichkeit, unter weitgehender Weiternutzung der ohnehin unter Simulink entwickelten Funktionsblöcke, eine Neuaufteilung der Simulation vorzunehmen: Die Navigation und die Flugsteuerung wurden aus der Simulation entnommen. Diese Aufgabe erfüllt stattdessen der originale Flugsteuerrechner. Alle anderen Funktionen wurden auf das dSPACE System portiert und liefern dort eine Echtzeitsimulation der Sensoren, Umwelt und Flugmechanik plus Aktuatordynamik. Mittels der Experimentiersoftware dSPACE ControlDesk® lassen sich die Bedingungen wie Wind, Sensorrauschen, Ausfall ganzer Sensoren usw. komfortabel einstellen.

zugängliche Beschreibung der Regelstrecke.

Entwicklung eines Flugreglermodells

Dieses Modell wurde in MATLAB®/Simulink® umgesetzt und konnte anschließend sofort für die Reglerentwicklung im Rahmen einer Desk-

enthält die Simulation ein Wind- und Böenmodell sowie ein Bodenkontaktmodell für Start und Landung. Zur komfortablen und realitätsnahen Bedienung wurde noch eine Schnittstelle zur Bodenkontrollstation der unbemannten Luftfahrzeuge eingerichtet. Eine weitere Schnittstelle nach außen ermöglicht es, die Position

„Zwei Erfolgsfaktoren der Entwicklung unbemannter Luftfahrzeuge werden selten genannt und immer unterbewertet: der Sicherheitspilot und das dSPACE System für die hardwarenahe Simulation. Beide reduzieren die ‚Fallhöhe‘ in Flugversuchen ganz beträchtlich.“

Dr.-Ing. Gordon Strickert, DLR Braunschweig

top-Simulation verwendet werden. Allerdings benötigt der Flugregler für seine Aufgabe präzise Informationen über die Lage und Position des Luftfahrzeugs. Also mussten auch die Navigationsalgorithmen in die Simulation übernommen werden. Die Navigation wiederum bedient sich der einzelnen Sensoren. Auch diese wurden in der Simulation hinsichtlich ihrer Protokolle sowie ihres Rausch- und Zeitverhaltens nachgebildet. Diese Sensoremulationen beziehen die benötigten Daten aus der flugmechanischen Simulation. Zusätzlich

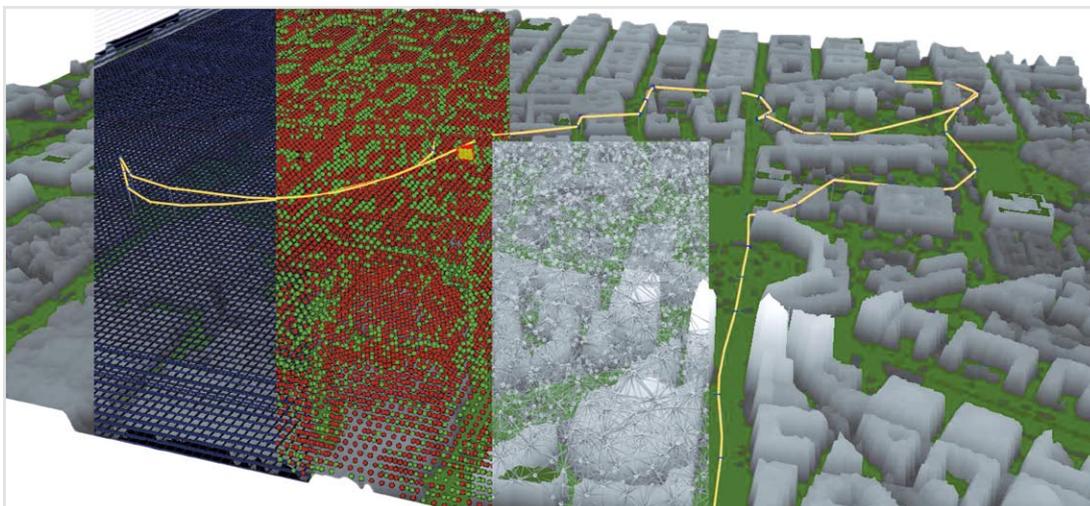
und Lage der simulierten Systeme in der Landschaft zu visualisieren. So ist es möglich, ganze Missionen im Labor zu planen, abzufliegen und zu beobachten. Reglerentwicklung, Parametertuning, Protokoll- und Kommunikationstests sowie die Flugversuchsvorbereitung lassen sich innerhalb dieser Infrastruktur durchführen.

Echtzeitsimulation

Die Funktion und das Verhalten der Flugsteuerrechner, insbesondere deren Echtzeitfähigkeit und die korrekte Anbindung der Hardwareschnittstellen,

Flüge im Labor

In der Praxis werden also einfach alle Sensoren vom Flugsteuerrechner abgezogen und mit dSPACE-simulierten Sensordaten über kompatible Steckverbinder ersetzt. Die seriellen Daten werden mit den originalen Treibern und Einstellungen auf dem Flugsteuerrechner verarbeitet, eine Navigationslösung errechnet und ein Kommando generiert. Das Kommando wird einerseits über die originalen Aktuatoren direkt ausgeführt und andererseits wieder zurück an das dSPACE System gespielt. Dies errech-



net aus dem Kommando, der Systemdynamik und der Umwelt eine Reaktion auf dieses Kommando und simuliert die entsprechenden Sensordaten. Um den Eingangssatz vom „Blade Runner“ noch einmal aufzugreifen, träumt das unbemannte Luftfahrzeug seine Missionen, reagiert entsprechend, steht dabei aber sicher im Labor.

Systemtests

Diese Art der Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulation hat sich ausgesprochen gut bewährt. Sie wird intensiv in der Entwicklung genutzt. Teilsystemtests, Gesamtsystemtests, Abstimmung der Algorithmen, Schnittstellentests usw. werden grundsätzlich in dieser Umgebung vorgenommen. Darüber hinaus wird die Simulation, gerade in Verbindung mit der leistungsfähigen Visualisierungsumgebung, für Parameterstudien, das Qualitätsmanagement und nicht zuletzt für wirkungsvolle Echtzeitpräsentationen genutzt.

Virtuelle Flugschule

Mittlerweile haben die unbemannten Luftfahrzeuge in dieser Simulationsumgebung das Fliegen gelernt: erst den vorsichtigen Schwebeflug für die Hubschrauber, dann den Wegpunktflug, das automatische Starten und Landen, und mittlerweile auch den aggressiven Schnellflug auf dreidimensionalen sogenannten Splinebahnen. Momentan werden hier

Verfahren zur automatischen Umweltwahrnehmung und -verarbeitung und der dreidimensionalen Kartenerstellung erprobt. Das heißt für die Simulation: Auch die neuen Umweltsensoren müssen in die HIL-Simulation eingebunden werden.

Reale Missionen

Regelmäßig müssen sich die Flugversuchsträger dann bei realen Flugmissionen bewähren. Die Kabel zum dSPACE System werden entfernt, die normalen Sensoren angeschlossen. Softwareanpassungen oder Umkonfigurationen sind nicht erforderlich. Das Systemverhalten ist dank unzähliger Simulatorstunden bereits relativ genau bekannt, so dass es hier im Flugversuch selten Überraschungen gibt. Die Mannschaft kann sich dafür auf die nicht simulierbaren Effekte und Komplikationen konzentrieren.

Autonomer Hubschrauber

Als Resultat dieser Arbeiten gehört das ARTIS-System zu den wenigen weltweit automatisch fliegenden Hubschraubern, die in der Lage sind, sich in unbekanntem Terrain zu bewegen, selbständig eine Umgebungskarte zu erstellen und innerhalb dieser Umgebung kollisionsfrei zu operieren. In den Flugversuchen werden also aus einstigen Maschinenträumen greif- und messbare Realitäten. ■

*Dr.-Ing. Gordon Strickert,
DLR Braunschweig*

Automatische Flugwegplanung in komplexen Tiefflugszenarien.

Fazit

- Entwicklung autonomer Fluggeräte
- Echtzeitsimulation komplexer, räumlicher Umgebungsmodelle
- Regleroptimierung am dSPACE Simulator

Dr.-Ing. Gordon Strickert

Dr. Strickert entwickelt als wissenschaftlicher Mitarbeiter unbemannt fliegende Luftfahrzeuge am Institut für Flugsystemtechnik des DLR in Braunschweig, Deutschland.

