

Nach dem Aufstieg auf 25 km Höhe per Ballon absolviert das USV (Unmanned Space Vehicle) während eines knapp zweieinhalbsminütigen Gleitfluges eine Reihe von Flugmanövern und sammelt eine Vielzahl von Messwerten.

Test des Bordcomputers eines unbemannten Raumgleiters

Rücksturz zur Erde



Die italienische Luft- und Raumfahrt-Forschungseinrichtung CIRA (Centro Italiano Ricerche Aero-spaziali) erforscht mit Hilfe eines unbemannten Raumgleiters (Unmanned Space Vehicle, USV) Technologien, die für die Entwicklung zukünftiger Raumtransporter eine wichtige Rolle spielen. Bei den Testflügen kommt ein Bordcomputer zum Einsatz, der zuvor mit Hilfe von dSPACE Werkzeugen umfassende Tests durchläuft.

Alternative zur Einwegrakete

Schon bevor die Ära der Space Shuttles mit dem letzten Flug Mitte 2011 zu Ende ging, existierten an verschiedenen Einrichtungen auf der Welt Entwicklungsprogramme für Alternativen. Denn prinzipiell ist das Konzept eines wiederverwendbaren Raumtransporters äußerst reizvoll, weil es im Vergleich zu Einwegraketen viel Potenzial zur Kostenersparnis und zur Vermeidung von Weltraumschrott eröffnet. Beispielsweise entstehen keine ausgebrannten Raketenoberstufen, die als gefährlicher Abfall

die Erde umkreisen. CIRA untersucht mit Hilfe eines USVs als „fliegendes Labor“ alle Aspekte, die für die Entwicklung zukünftiger wiederverwendbarer Raumtransporter von Bedeutung sind, beispielsweise Thermodynamik, Elastizität, Hitzeschildtechnologien, Navigationstechniken, Flugmechanik etc. Das USV hat bereits zwei Testflüge absolviert und dabei wertvolle Ergebnisse unter anderem über Druck-, Kraft- und Temperaturverhältnisse an der Außenhülle geliefert.



Abbildung 1: Das ca. 9 m lange USV gleitet antriebslos zur Erde zurück, gesteuert allein von einem Bordcomputer.



Sturzflug XXL

Am 11. April 2010 fand der zweite Testflug statt, bei dem das USV zunächst mit Hilfe eines Stratosphärenballons bis auf eine Höhe von 25 km aufstieg. Nach dem Abkoppeln vom Ballon absolvierte es während des gut zweiminütigen Gleitfluges ein Messprogramm, um am Ende vor Sardinien per Fallschirm zu wassern (Abbildung 3). Die Geschwindigkeit lag meist bei Mach 1, eine Zeit lang auch bei ca. Mach 1,2. Während des Fluges sammelte das USV ständig alle notwendigen Daten (Fluglage, Geschwindigkeit, Beschleunigung etc.), damit der Bordcomputer sicher steuern konnte. Dazu musste der Bordcomputer zuvor im Labor ein intensives Testprogramm absolvieren, bei dem ein dSPACE System zum Einsatz kam.

Flugsteuerungssystem für autonomen Gleitflug

Für die Steuerung des Gleitfluges bis zur Wasserrung nutzt das USV verschiedene Sensoren, um Daten z.B. über Position, Fluglage, Geschwindigkeit und Beschleunigung zu sammeln:

- Magnetometer (Bestimmung der relativen Lage des USVs zum Erdmagnetfeld)
- Beschleunigungssensoren (MEMS-Beschleunigungsmesser, also mikroelektro-mechanische Systeme)
- Glasfaser-Gyroskop (zur Bestimmung der Lage des USVs in Bezug auf seine Flugbahn)
- GPS-Sensoren (Global Positioning System, zur Positions- und Geschwindigkeitsmessung)
- Air Data System (Flugwerterechner, u.a. zur Bestimmung der Machzahl über Staudrucksonden)

Der Bordcomputer verarbeitet die Messdaten all dieser Systeme in Echtzeit und berechnet mit ihrer Hilfe die entsprechenden Befehle zur Ansteuerung der Leitwerke, damit der autonome Gleitflug des USVs wie geplant verläuft. „Mit dem dSPACE System simulieren wir den Flug inklusive sämtlicher Sensorwerte“, erläutert Giovanni Cuciniello, Leiter des Guidance, Navigation and Control (GNC) Laboratorys bei CIRA. „So können wir den Bordcomputer bereits testen, bevor das USV abhebt.“ Das USV ist gespickt mit zahlreichen Sensoren. Beispielsweise messen mehr als 300 Piezosensoren die Druckverteilung an der Außenhülle während des Fluges. Mit Hilfe dieser Messwerte können die Ingenieure u.a. die Form des USVs optimieren.

Tests des Flugsteuerungssystems

Das dSPACE System (Abbildung 4) zum Test des Flugsteuerungssystems besteht aus einem DS1005 Processor Board (zur Berechnung des Flugablaufes inkl. der zugehörigen Sensorwerte) und diversen I/O-Karten zum Anschluss an den Bordcomputer. Die Experimentiersoftware dSPACE

„Mit Hilfe des dSPACE Systems können wir bereits vor dem Flug die Funktionen des Bordcomputers umfassend prüfen.“

Giovanni Cuciniello, CIRA

ControlDesk® dient zur Überwachung und Steuerung sämtlicher Experimente. ControlDesk überwacht dabei die simulierte Umgebung und zeichnet diese auf. Bei Bedarf nimmt die Software auch Änderungen vor, erhöht zum Beispiel die Steiggeschwindigkeit oder ändert die Böenstärke im freien Flug.

ControlDesk erlaubt auch die Einspeisung von Fehlern in den simulierten Ballon und in die Teilsysteme des Flugkörpers, um die Reaktionen des Systems zu analysieren. Im Vergleich zu herkömmlichen Forschungs-

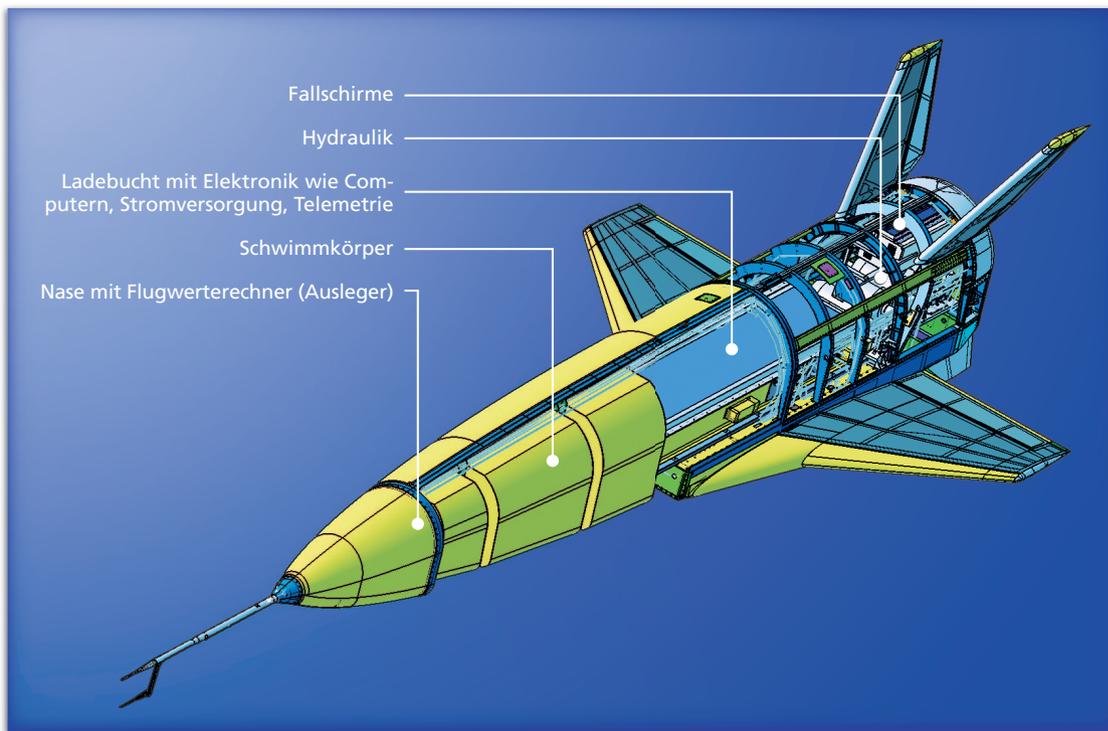


Abbildung 2: Aufbau des USVs. Seine Außenhülle ist u.a. gespickt mit hunderten Drucksensoren.

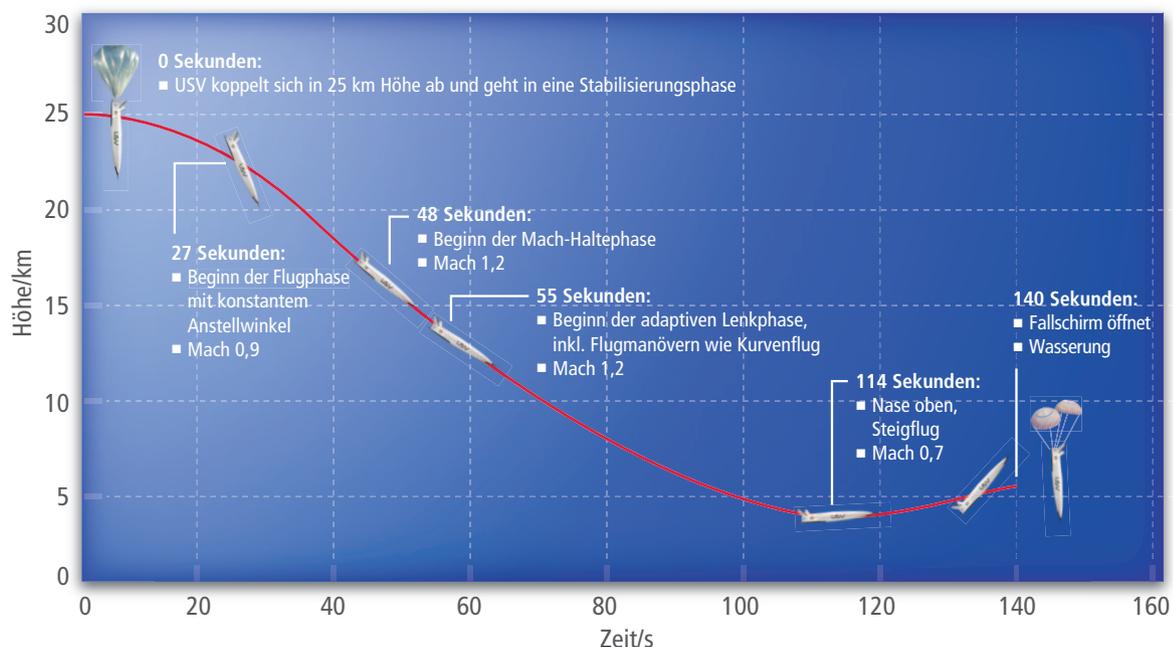
und Entwicklungsmethoden ermöglicht die dSPACE Echtzeitplattform eine schnellere und nahezu vollständige Entwicklung der Flugsteuerung. Das reduziert nicht nur Zeit- und Kostenaufwände im Entwicklungs-

zyklus, sondern erhöht auch die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems. Die Tests laufen in 3 Schritten ab: (1) Software-in-the-Loop, (2) Mobil auf einem Fahrzeug, (3) Hardware-in-the-Loop:

1. Software-in-the-Loop

Hierbei handelt es sich um Vorabtests, um die grundsätzlichen Funktionen der Flugsteuerungssoftware zu testen. Das dSPACE System simuliert die flugmechanischen Eigenschaften

Abbildung 3: Während des gut zweiminütigen Gleitfluges sammeln Sensoren an der Außenhülle eine Fülle von Messwerten bei verschiedensten Flugmanövern.



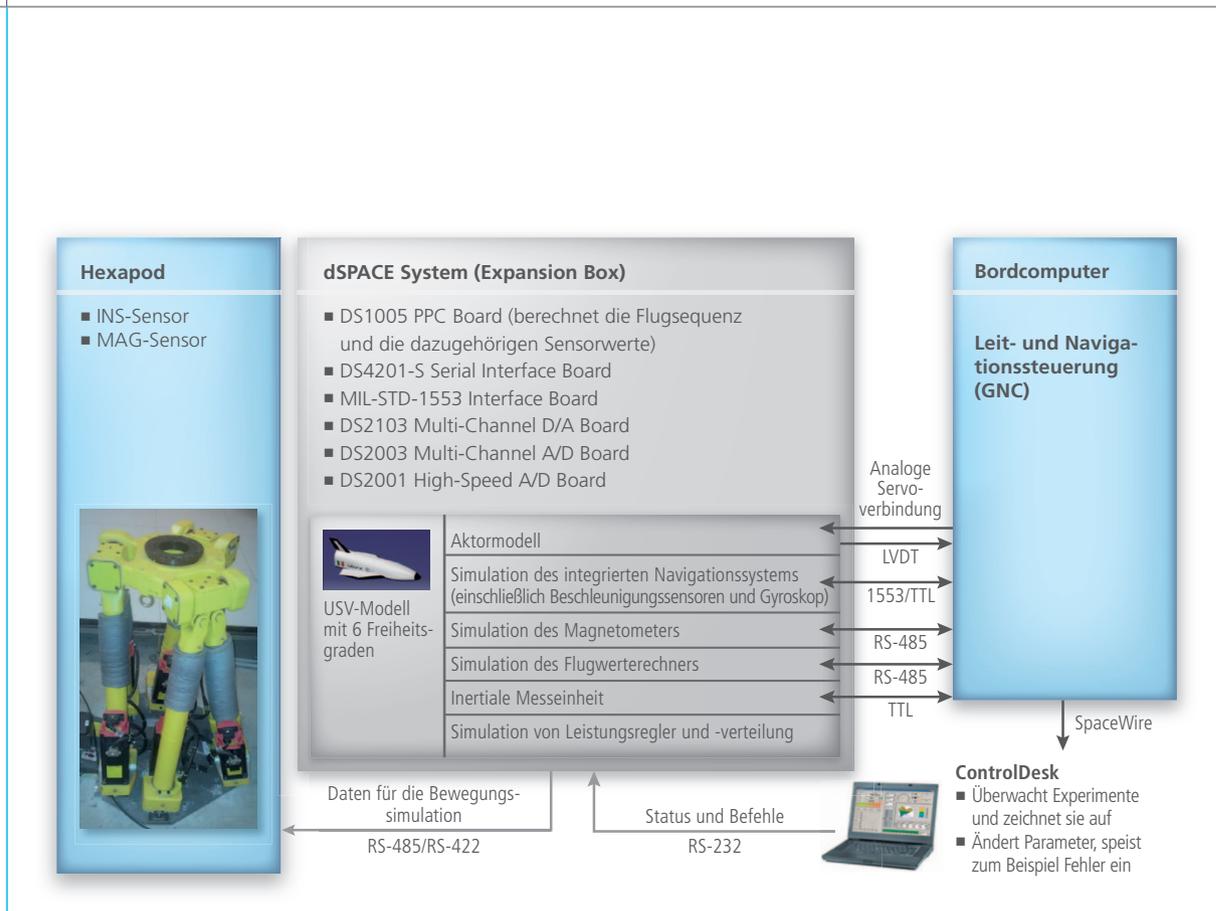


Abbildung 4: Das dSPACE System rechnet in Echtzeit die Flugmechanik- und Sensor/Aktor-Modelle. Diese Daten dienen zum Testen des Bordcomputers. Parallel dazu werden die aktuellen Flugbewegungen auf einem Hexapod nachgebildet, auf dem sich die realen Sensoren befinden.

des USVs und sämtliche Sensoren. Alle Modelle wurden zuvor in MATLAB®/Simulink® entwickelt. Reale Sensoren sind hier noch nicht eingebunden.

2. Mobile Tests:

Die realen Sensoren wurden in ein Fahrzeug eingebaut, um zu testen, ob sie bei Fahrten korrekt arbeiten (sowohl alleine als auch im Zusam-

menispiel), beispielsweise bei der Verarbeitung der sich während der Fahrt ändernden GPS-Daten und Beschleunigungswerte.

3. Hardware-in-the-Loop:

In diesem Schritt (Abbildung 4) wird schließlich genau der Bordcomputer getestet, der auch bei der späteren Mission zum Einsatz kommen soll. Wie beim Software-in-the-Loop-Test

in Schritt 1 simuliert das dSPACE System auch hier wieder die Flugmechanik und sämtliche Sensorwerte. Diese Daten werden dann an den Bordcomputer übermittelt. Seine Reaktionen werden auf einem Hexapod nachvollzogen, auf dem sich die realen Sensoren befinden.

In Zukunft auch Hitzeschildtests

Nach den beiden absolvierten Flügen

„Mit dem dSPACE Echtzeitsystem konnten wir die Entwicklungszeit verkürzen, die Kosten senken und die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems erhöhen.“

Giovanni Cuciniello, CIRA





Quelle: ESA – S. Corvaja, 2012

Abbildung 5: Start der neuen europäischen Rakete Vega zum Jungfernflug am 13. Februar 2012. Einer ihrer zukünftigen Flüge soll auch das USV von CIRA in eine Umlaufbahn tragen.

des USV1 soll das nächste unbemannte System USV3 eine Mission durchführen, die vom Wiedereintritt aus dem Orbit bis zur Bodenlandung reicht. Dafür wird die europäische Trägerrakete Vega das USV3 vom europäischen Weltraumbahnhof in Kourou in eine erdnahe Umlaufbahn (200-300 km Höhe) bringen. Nach einigen Erdumkreisungen soll das USV3 den Orbit verlassen, um den Wiedereintritt mit Hyperschallgeschwindigkeit einzuleiten und autonom durch die Atmosphäre zu fliegen – von hyperschall zu überschall, von schallnah zu unterschall, um schließlich auf einer herkömmlichen Landebahn zu landen. „Es wird spannend sein zu sehen, ob auch bei Außenhüllentemperaturen von mehr als 2000 °C alle Systeme an Bord des USVs noch so funktionieren wie geplant“, so Giovanni Cuciniello von CIRA. Langfristiges Fernziel des USV-Programms von

CIRA ist die Entwicklung eines Raumtransporters, der wie ein Flugzeug vom Boden abhebt, bis in eine Umlaufbahn aufsteigt und anschließend auf jedem Flugplatz der Welt wieder landen kann. ■



Sehen Sie in diesem Video den Testflug des USV1 von den Vorbereitungen über das Abheben bis zur Landung mit dem Fallschirm: www.youtube.com/watch?v=BhoXgWKjVLO

Giovanni Cuciniello

Giovanni Cuciniello leitet das Guidance, Navigation and Control (GNC) Laboratory am CIRA in Capua, Italien.

