

Computerillustration des für Anfang 2011 geplanten SHEFEX II-Experiments zur Erprobung neuartiger Hitzeschildtechnologien. Die Navigationssysteme der Nutzlastspitze werden bereits am Boden mit einem dSPACE-System eingehend getestet.



Scharf und spitz

Test des Navigationssystems für
das SHEFEX II Hitzeschild-Experiment

Im Rahmen der Entwicklung eines künftigen Raumgleiters erforscht das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt mit dem SHEFEX II Programm neue Hitzeschildtechnologien. Für Anfang 2011 ist der Flug eines Testkörpers auf der Spitze einer Höhenforschungsrakete geplant, um einen neuartigen, aus flachen Kacheln aufgebauten Hitzeschild zu erproben, der erheblich preiswerter und wartungsfreundlicher ist als diejenigen bisheriger Raumfahrzeuge. Zuvor durchläuft das Navigationssystem der zur Erde zurückkehrenden Nutzlastspitze umfassende Tests mit Hilfe eines dSPACE Systems.

Neuartiger Hitzeschild

Der Hitzeschild des amerikanischen Space Shuttles besitzt mehr als 20000 verschieden geformte, abgerundete Kacheln, von denen jede nur an eine ganz bestimmte Stelle des Shuttles passt. Entsprechend hoch sind die Kosten für die Herstellung der Kacheln und die Wartung des Hitzeschildes. Mit SHEFEX II (Sharp Edge Flight Experiment) geht das DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) einen anderen Weg. Alle Kacheln sind flach und es gibt nur wenige Grundformen. Dies vereinfacht zum einen ihre Herstellung und macht zum anderen den Hitzeschild auch sehr wartungsfreundlich. Außerdem führt die facettierte Form des Hitzeschildes mit scharfen Ecken und Kanten auch zu besseren aerodynamischen Eigenschaften. Die SHEFEX-Technologie ermöglicht einen einfach aufgebauten und damit kostengünstigen Raumgleiter, der genau wie das Space Shuttle punktgenau landen kann. Mit dem SHEFEX-Programm soll diese neue Hitzeschildtechnologie mit einer Höhenforschungsrakete im Flug getestet werden.

Flugkontrolle per IMU, GPS und mit Hilfe der Sterne

Die Steuerung der zur Erde zurückkehrenden Nutzlastspitze geschieht mit Hilfe von 4 „Stummelflügel“, sogenannten Canardfinnen. Dafür müssen zu jedem Zeitpunkt die Geschwindigkeit, Position und Lage (Ausrichtung der Längsachse zur Flugrichtung) der Nutzlastspitze bekannt sein. Zur Messung dieser Größen kommen drei verschiedene Navigationssysteme zum Einsatz:

- Trägheitsnavigation (Prinzip der inertialen Messeinheit, engl. inertial measurement unit (IMU); dient vor allem zur Überwachung der hohen Dynamik der Nutzlastspitze und ihrer Lage bzgl. ihrer Flugbahn (Abtastrate 400 Hz)
- GPS (Global Positioning System; Positions- und Geschwindigkeitsmessung (Abtastrate 1 Hz)
- Sternensensor (Startracker); Navigation nach den Sternen per Kamera (Abtastrate 1 Hz)

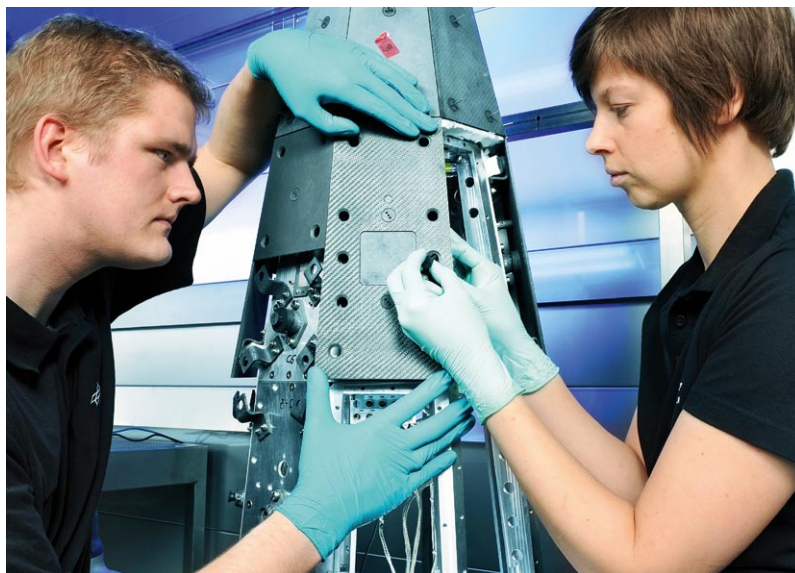
Die Kombination dieser drei Systeme sorgt für eine hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit. Die Aufgabe des dSPACE Systems besteht darin, den Ablauf des Fluges inklusive der Navi-

gationssignale zu simulieren und so das Zusammenspiel aller Komponenten bereits vor dem Flug zu testen.

dSPACE System zur Flugsimulation

Um die Navigationssysteme bereits am Boden zu testen, kommt ein dSPACE System zum Einsatz, das im Wesentlichen aus dem DS1006 Processor Board (zur Berechnung der Flugbahn und der von der aktuellen Fluglage abhängigen Signale der Navigationssysteme) und diversen I/O-Boards (zum Anschluss an die Navigationssysteme) besteht. Die Tests erfolgen in mehreren Schritten. Im ersten Schritt besteht der Versuchsaufbau allein aus dem dSPACE System und dem Navigationscomputer. Die eigentlichen Navigationsgeräte (IMU, GPS, Sternensensor) fehlen hier, ihre Signale werden alle vom dSPACE System simuliert. Dieser erste Test dient dazu, zunächst die prinzipielle Funktion der Navigationssoftware zu überprüfen und zu optimieren. Erst danach werden die Navigationsgeräte schrittweise zusätzlich angeschlossen. Im zweiten Schritt sind dies das reale GPS und ein GPS-Signalgenerator, um die

Abbildung1: Links: Die gut 2 m lange, mit flachen Hitzeschutzkacheln belegte Nutzlastspitze. Rechts: Montage der Kacheln. Unter den Kacheln befinden sich u.a. Temperatur- und Drucksensoren für Messungen während des Fluges.



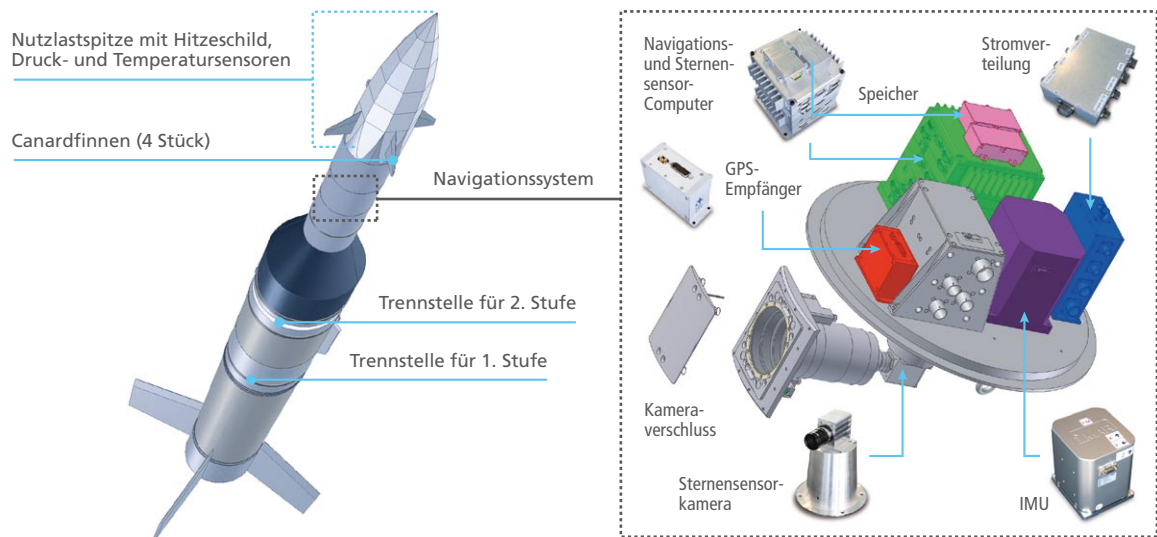


Abbildung 2: Die gut 12 m lange zweistufige brasilianische Feststoffrakete VS-40 trägt die Spitze mit dem Hitzeschild und dem Navigationssystem in eine Höhe von ca. 140 km.

GPS-Navigation zu testen. Im dritten Schritt erfolgt zusätzlich der Anschluss der IMU, die auf einem ACUTRONIC Rotationstisch montiert ist, um unterschiedliche Flugbewegungen zu simulieren (Abbildung 3). Im letzten Schritt schließlich wird auch der Sternensensor in den Aufbau integriert. Er empfängt einen simulierten

Sternenhimmel von einem Jenoptik Himmelssimulator. Aufgrund der hohen Geschwindigkeit wirken sich Zeitverzögerungen von Positionsmessungen (GPS) extrem auf die Navigationslösung aus. Deshalb liegt ein besonderes Augenmerk auf der Synchronisation ihrer Signale mit der internen Uhr des Navigationscomputers. Für die Entwicklung der Regelungsmodelle kommt MATLAB®/ Simulink® zum Einsatz, die Überwachung (Beobachtung und Visualisierung von Signalen, Einstellungen) der laufenden Tests geschieht mit der Experimentsoftware dSPACE ControlDesk®.

Rücksturz zur Erde aus 140 km Höhe mit Mach 10

Der Start der Rakete soll 2011 auf dem Testgelände in Woomera, Australien erfolgen. Der Flug führt voraussichtlich bis in eine Höhe von 140 km und dauert ca. 10 Minuten. Am Ende wird die Nutzlastspitze mit dem Hitzeschild ca. 830 km entfernt an Fallschirmen sanft in der Wüste landen. Die IMU kann während des gesamten Fluges zur Navigation genutzt werden, im Gegensatz zum GPS, das planmäßig beim Wieder-

eintritt in die Erdatmosphäre zeitweise ausfällt. Grund hierfür ist, dass die Nutzlastspitze geteilt wird, um sie etwas unsanft von Über- auf Unterschall zu bremsen. Dabei rotiert sie stark, was es für das GPS und seine Antennen nahezu unmöglich macht, weitere Signale zu empfangen. Im höchsten Punkt der Flugbahn wird außerdem der Sternensensor aktiviert, der die Sternpositionen mit gespeicherten Sternenkarten abgleicht und so die relative Lage der Nutzlastspitze zur Flugbahn bestimmt.

Ziel: Wiederverwendbarer Raumgleiter REX-Free Flyer

Die rund 160 Sensoren in der Nutzlastspitze werden während der Wiedereintrittsphase eine Fülle an Datenmaterial über den Druck und die Temperaturverteilung am Hitzeschild sammeln. Die Ingenieure untersuchen mit SHEFEX gleich mehrere verschiedene Hitzeschutztechniken. Meist handelt es sich um Faserkeramik-Entwicklungen des DLR. Unter anderem kommt auch zum ersten Mal in der Geschichte der Raumfahrt eine aktive Kühlung zum Einsatz, bei der ein durch Poren

Stephen Steffes

Stephen Steffes ist Projektingenieur für das SHEFEX-Navigationssystem beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Bremen, Deutschland.



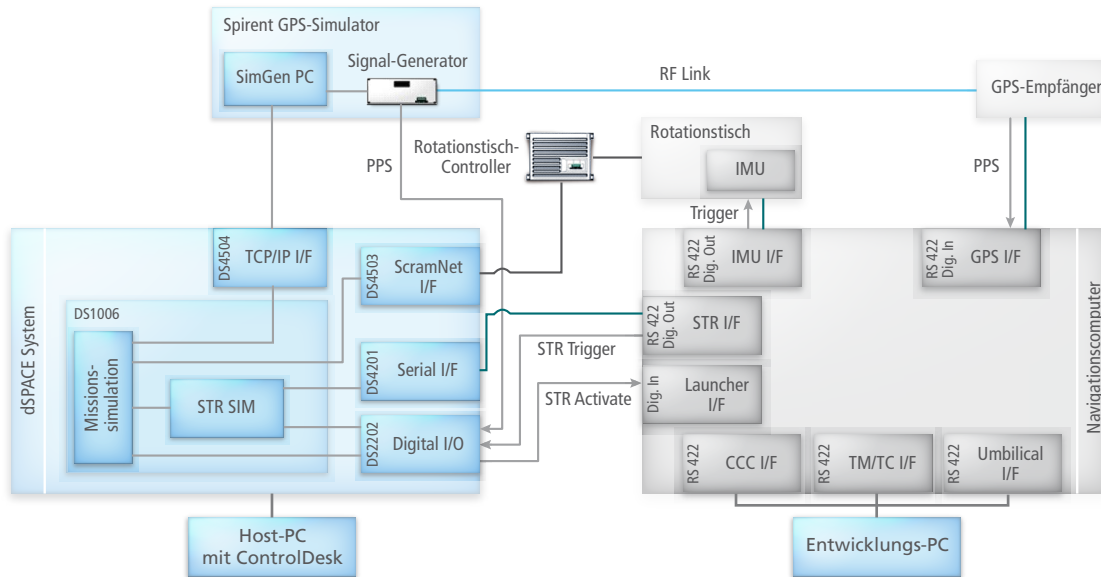


Abbildung 3: Eines der Testszenarien. Das dSPACE System testet den Navigationscomputer, an dem hier das GPS und die Trägheitsnavigation (IMU) als reale Komponenten angeschlossen sind. Der Sternensensor (STR SIM) wird vom dSPACE System simuliert.

„Mit Hilfe des dSPACE Systems können wir die komplette Mission am Boden simulieren und unser Navigationssystem in allen Details überprüfen.“

Stephen Steffes, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

in den Hitzeschutzkacheln austreten des Gas eine hitzeisolierende Schicht bildet. Die Erprobung der neuen Hitzeschildtechnologien ist Teil eines langfristigen Entwicklungsprojektes. Das Ziel ist letztendlich ein neuartiger, REX-Free Flyer genannter Raumgleiter, der ab ca. 2020 zur Verfügung stehen könnte, um Experimente aus der Schwerelosigkeit wieder zur Erde zurückzubringen. ■

Stephen Steffes
Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Abbildung 4: Im Laufe des ca. 10-minütigen Fluges kommen alle Navigationssysteme zum Einsatz. Während der Wiedereintrittsphase messen ca. 160 Sensoren die Temperatur- und Druckverteilung am Hitzeschild.

