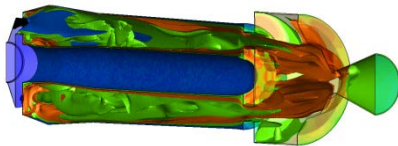


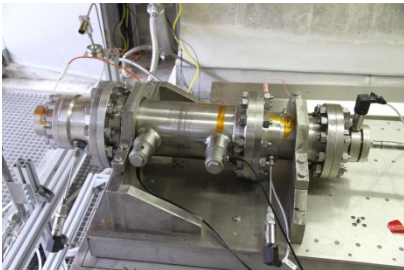


## AHRES/ATEK: Software für den Entwurf von Hybridraketenantriebswerken

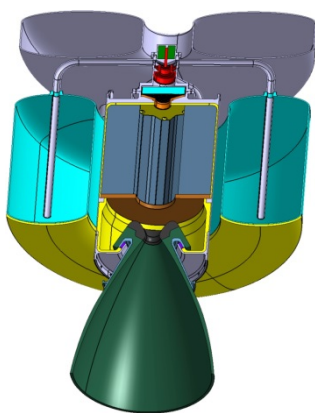
Hybridraketenantriebswerke stellen eine vielversprechende, kostengünstige Alternative zu den bis heute eingesetzten Feststoff- und Flüssigraketenantriebswerken für den kommerziellen Raumtransport dar. Innerhalb der Programme AHRES (Advanced Hybrid Rocket Engine Simulation) und ATEK (Antriebs-TEchnologien für Kleinträger) entwickelt das DLR ein Software-Tool, welches den Entwurf eines kompletten Hybridraketenantriebswerks inklusive Subsystemen innerhalb von 100 Tagen ermöglicht. Darüber hinaus ist das Programmsystem auch zur Auslegung von Feststoffraketenantriebswerken einsetzbar. Zur Validierung der Software steht ein eigener Laborprüfstand für derartige Triebwerke zur Verfügung.



Halbschalen-CFD-Simulation des Triebwerksdemonstrators



Hochmoderne Messtechnik zur Analyse der Brennkammerprozesse



Mögliche Anwendung:  
Oberstufenantriebswerksstudie AHREUS

### Kostengünstig und umweltfreundlich

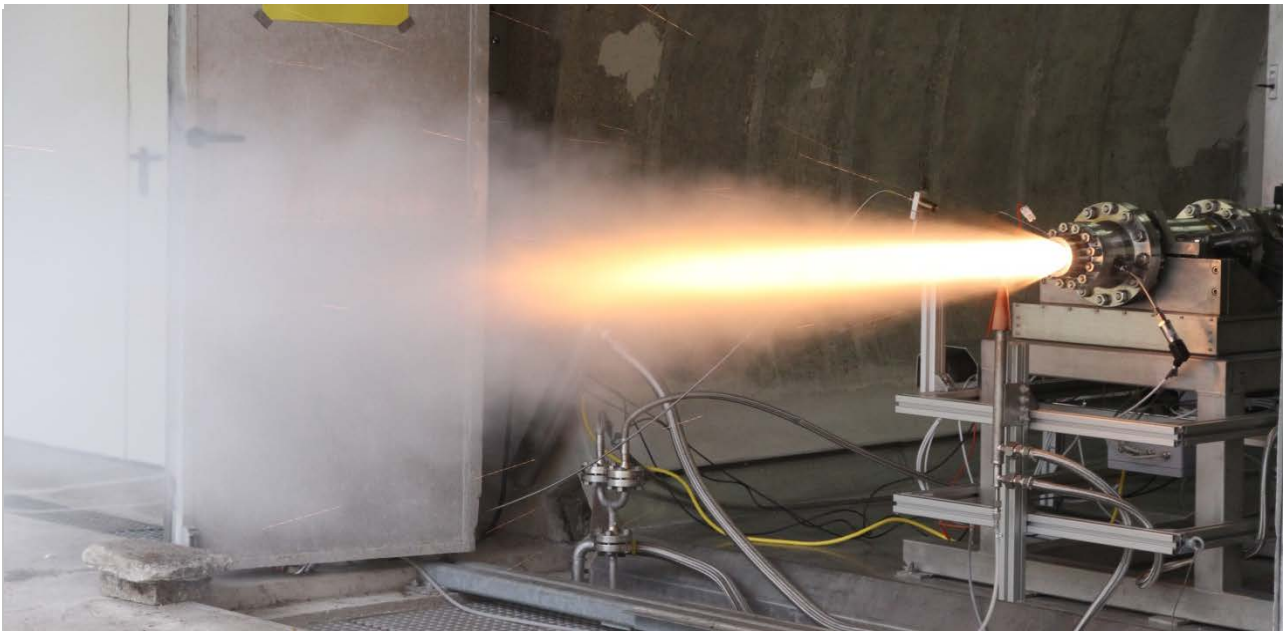
Hybridraketenantriebswerke sind eine Kombination aus Feststoff- und Flüssigraketenantriebswerken und vereinen in sich die Vorteile beider Systeme. Die Bauweise des Triebwerks und die Handhabung der Treibstoffe sind einfach und daher kostengünstiger als bei Flüssigraketenantriebswerken. Zudem sind die Treibstoffkomponenten ungiftig. Der Schub ist regelbar und das Triebwerk kann bei Bedarf an- und abgeschaltet werden. Außerdem ist die Explosionsgefahr niedriger als bei anderen Triebwerksarten, da die Treibstoffe getrennt voneinander und in verschiedenen Phasen innerhalb der Rakete gelagert werden. Diesen zahlreichen Vorteilen stehen die niedrige Abbrandgeschwindigkeit des Brennstoffs und der damit einhergehende niedrige Schub als Nachteile gegenüber. Aktuelle Untersuchungen zeigen jedoch, dass dieser Mangel durch das bessere Verständnis des Abbrandprozesses und durch die Verwendung neuer Brennstoffzusammensetzungen beseitigt werden kann.

### Software für den Triebwerksentwurf

Innerhalb des Vorhabens AHRES wurde im Zeitraum von Anfang 2011 bis Ende 2014 ein gleichnamiges Programmsystem für den Entwurf und die Optimierung von Hybridraketenantriebswerken entwickelt. Das Softwarepaket AHRES umfasst die mathematische Beschreibung von heterogenen Verbrennungsprozessen sowie die Berechnung der Wärmeübertragung durch Leitung, Konvektion und Strahlung in einer Hybridraketenbrennkammer. Darüber hinaus ermöglicht es die Vorhersage der Geometrieänderung des festen Brennstoffs während der Brennphasen und erlaubt die Beschreibung des Strömungsverlaufs der Verbrennungsgase vom Brennkammereintritt bis zum Ausströmen durch die Düse. Zudem beinhaltet die Software Festigkeitsberechnungen und ermöglicht somit den Entwurf sowohl einzelner Konstruktionselemente als auch eines vollständigen Hybridraketenantriebswerks. Folgende zwei Aufgabenstellungen sind mit dem AHRES-Softwarepaket bearbeitbar:

**(a)** Für ein vorgegebenes Missionsziel, sowie vorgegebene Treibstoffeigenschaften und Konstruktionswerkstoffe, werden die Geometrie und die Abmessungen eines Hybridraketenantriebswerks bestimmt (**Direktmodus**).

**(b)** Für eine vorgegebene Geometrie, eine definierte Treibstoffkombination und vorgegebene Konstruktionswerkstoffe wird eine detaillierte Beschreibung aller Strömungs- und Verbrennungsprozesse inkl. der Wärmeübertragung geliefert (**Indirektmodus**).



Versuchslauf des AHRES-Demonstrator-Hybridraketenriebwerks auf dem Prüfstand am DLR-Standort in Trauen

## Versuche und CFD-Simulationen zur Software-Validierung

Im Rahmen des Projektes ATEK wird die Modellierung, Erprobung und Entwurfssoftwareentwicklung von Hybridraketenriebwerken seit Anfang 2015 weitergeführt. Das Programmsystem AHRES soll durch Experimente validiert und mit einer Reihe von Optimierungsverfahren für die entworfene Geometrie und die simulierten Brennkammerprozesse gekoppelt werden. Ziel ist es, durch das detaillierte Verständnis der Verbrennungsvorgänge optimale Triebwerkskonfigurationen abzuleiten, die als Prototyp für verschiedenste raumfahrttechnische Anwendungen dienen können. Zur Validierung der Software werden sowohl CFD-Simulationen als auch Versuche mit einer Reihe von Triebwerken zur Technologie-demonstration durchgeführt.

## Versuchsprüfstand am DLR-Standort in Trauen

Zur Durchführung der Versuche hat ein Team aus Mitarbeitern des Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik, Abteilung Raumfahrzeuge zusammen mit Studenten der TU Braunschweig einen, seit 30 Jahren ungenutzten Teststand am DLR-Standort Trauen mit modernster Messtechnik ausgerüstet und wieder zum Einsatz gebracht. Dieser Teststand wird genutzt, um nachzuweisen, dass das entworfene Hybridraketenriebwerk mit

den Treibstoffkomponenten HTPB / Aluminium als Brennstoff und hochkonzentriertem Wasserstoffperoxid als Oxidator effizienter arbeitet als herkömmliche Feststoffraketenriebwerke. Diese Anlage ist in ihrer Form einmalig in Europa. Das abgelegene Gelände in Trauen erfüllt alle Sicherheitsstandards, um in Zukunft auch größere Hybridraketenriebwerke mit einer Schubkraft von bis zu 15 Tonnen untersuchen zu können. Die Ingenieure des DLR testen dabei verschiedene Festbrennstoffe, variieren die Zusammensetzungen und analysieren den jeweiligen Verbrennungsprozess. Die Testergebnisse dienen anschließend der Verbesserung der Computersimulationen.

## Vielfältige Einsatzmöglichkeiten

Ziel der Forschungsarbeit ist es, anhand der eigenen Versuchsergebnisse eine Ingenieur-Softwareumgebung zu entwickeln, welche den Entwurf eines Hybridraketenriebwerkes innerhalb von 100 Tagen oder auch die Optimierung bestehender Entwürfe ermöglicht. Das potentielle Einsatzfeld von Hybridraketenriebwerken ist vielfältig. Eine mögliche Anwendung wäre die Verwendung als Oberstufenriebwerk für kleine und mittlere Trägerraketen. Weiterhin können Forschungsraketen und Forschungsflugzeuge mit Hybridraketenriebwerken ausgestattet werden, um damit die bisher ungenutzten Flughöhen zwischen denen herkömmlicher Flugzeuge und Satelliten (etwa 40 bis 180 Kilometer Einsatzhöhe) effektiv

zu nutzen. Auch der Einsatz für Mond- und Marslander ist aufgrund der Regelbarkeit und Wiederstartbarkeit vielversprechend. Zudem wurde der Vorteil der sehr hohen Betriebssicherheit dieser Triebwerksart bereits jetzt von vielen Firmen für das potentiell große kommerzielle Feld des Weltraumtourismus entdeckt.

**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.**  
German Aerospace Center

Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik  
Lilienthalplatz 7  
D-38108 Braunschweig

Kontakt: Dr.-Ing. Ognjan Božić  
Telefon: +49 531 295-3326  
Telefax: +49 531 295-2320  
E-Mail: Ognjan.Bozic@dlr.de  
www.DLR.de/as