

Ariane 6: Der Schub kommt aus Deutschland

Von Jürgen Ackermann



Auf Ariane 5 folgt Ariane 6 - Was hier lediglich nach einem (Entwicklungs-) Schritt klingt, entpuppt sich bei näherer Betrachtung als großer Technologiesprung für Europas eigenen Träger der nahen Zukunft. Denn unter zentraler, rein industrieller Verantwortung und Koordination aller Prozesse vom Design bis zur Produktion entsteht mit der Ariane 6 derzeit weit mehr als lediglich eine verbesserte Variante des Bekannten - es ist ein völlig neues Produkt und basiert auf einer Vielzahl von längst nicht mehr evolutionären, sondern tatsächlich revolutionären Innovationen.

Deutschland ist mit einer Rekordbeteiligung von über 23 Prozent zentraler Partner in diesem europäischen Leuchtturmprojekt. Hinter den reinen Zahlen steht das Selbstvertrauen sowohl der deutschen Politik als auch der Industrie, mit disruptiven Technologien diesem europäischen Leuchtturmprojekt den erforderlichen Schub zu verleihen - im übertragenen wie auch durchaus im wörtlichen Sinne. Denn sowohl die Oberstufe - bei Ariane 6 auch als „Upper Liquid Propulsion Module“ bezeichnet - welche im All schließlich die Satelliten auf ihre präzisen Transferbahnen bringt, als auch die Schubkammer des zentralen Antriebsmotors Vulcain 2.1 der Hauptstufe stammen aus Deutschland.

Während in Ottobrunn Entwicklung und Produktion von Raketenschubkammern für Haupt- und Oberstufen wie auch von kryogenen Stufenventilen und Antriebsdemonstratoren vor-

angetrieben werden, entsteht in Bremen derzeit das europäische Oberstufen-Integrationszentrum der ArianeGroup auf 7.700 Quadratmetern, um den optimalen Integrationsprozess von Ariane 6-Oberstufen und Tanks zu gewährleisten. Sowohl Design- und Fertigungsprozesse als auch die neue Oberstufe der Ariane 6 warten mit einer ganzen Reihe von Neuerungen auf.

FLIC: Digitalisierung vom Engineering-Modell bis zur Fertigung

Intelligenz, Flexibilität, Industrie 4.0: Diese drei Synonyme für Innovation und Fortschritt finden im neuen Integrationskonzept für zukünftige Trägersysteme Anwendung. Das Ziel von FLIC (Future Launcher Integration Concept) ist die in Echtzeit stattfindende Informationsgewinnung, Entscheidungsfindung und Kommunikation zwischen Werkern und Planungssystemen, so dass Reaktionen auf Änderungen und Störungen unmittelbar möglich sind. Starre Planungssysteme und damit verbundene erhöhte Kosten und Zeitverluste werden abgelöst durch eine Kombination aus elektronisch vernetzten Geräten und intelligenten Planungssystemen. So können mobile, teilweise sogar am Körper tragbare Computer (Wearables, wie beispielsweise Smart Glasses) Informationen erfassen und aktuelle Daten direkt bereitstellen. Mit diesen kann dann auf der Basis von intelligenten Netzplänen sofort auf Änderungen reagiert und eine optimale Alternativlösung kommuniziert werden.

Die Entwicklung des neuen Integrationskonzeptes FLIC findet im Rahmen eines gemeinsam geförderten Programms des DLR und ArianeGroup zur Entwicklung neuer Technologien für kryogene Oberstufen statt und vereinigt diverse Oberstufenkomponenten am Standort Bremen.

Systemoptimierung: Zusätzlicher Schub durch die APU

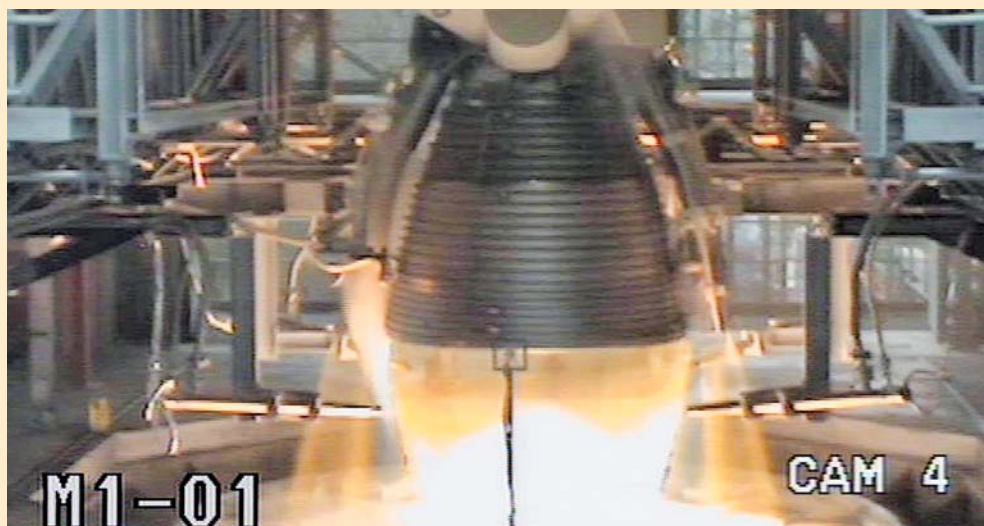
In der Oberstufe steckt nicht nur das Gehirn, sondern sie ist auch der Teil der Rakete, der die exakte Aussetzung des oder der Satelliten bestimmt. Die neue Ariane 6-Oberstufe wird eine Vielzahl von Innovationen aufweisen, damit der wirtschaftliche Erfolg der Ariane 5 nicht nur wiederholt, sondern die Marktpositionierung noch verbessert und der europäische Zugang zum All langfristig sichergestellt wird.

Die Verantwortung für die Entwicklung der Oberstufe und ihre Integration liegt traditionell in Bremen. Die Systemoptimierung zielt darauf ab, bei möglichst geringem Gesamtgewicht von Struktur und Treibstoffen eine maximale Nutzlast und verbesserte Genauigkeit bei der Aussetzung der Satelliten, sei es eine größere Einzelnutzlast oder auch eine aus bis zu mehreren Dutzend kleineren Satelliten bestehende Konstellation, zu erzielen.

Auf Ariane 6 wird erstmals eine "Auxiliary Power Unit" (APU) zum



Der Tank mit einem Durchmesser von 5,4 Metern und einem Volumen von 73,61 m³ wird mit mehr als 4,9 t flüssigem Wasserstoff befüllt. Die für die speziellen Bedürfnisse von Bremer Ingenieuren entwickelte Sprühisolation hält den Wasserstoff während des mehrstündigen Fluges ins All auf einer Temperatur von -253°C entsprechend 20 K.



Elf Minuten zündete das Triebwerk Vulcain 2.1, das am 22. Januar 2018 erstmals von DLR-Ingenieuren in Lampoldshausen getestet wurde. Höhere Effizienz bei geringeren Kosten – das ist die Aufgabe des neuen Raketentriebwerks Vulcain 2.1, das im Jahr 2020 die neue europäische Trägerrakete Ariane 6 ins All befördern soll. Doch bevor solch ein Start erfolgreich durchgeführt werden kann, müssen zunächst Entwicklungstriebwerke unter Beweis stellen, dass es seiner enormen Schubkraft von 130 Tonnen, rund 3.000 Grad Celcius in seiner Brennkammer, hohen Drehzahlen seiner Turbopumpen und Drücken in seinen Treibstoffleitungen gewachsen ist. Fotos: ArianeGroup/DLR

Einsatz kommen, die gemeinsam in Deutschland und Frankreich entwickelt wird. Ihr Herzstück ist ein vollständig in 3D-Druck hergestellter Gasgenerator mit Wärmetauscher, der zur Bedrückung der Oberstufentanks mit verdampftem Treibstoff benutzt wird. Dadurch kann die Anzahl der sonst für die Tankbedrückung verwendeten Heliumtanks deutlich verringert werden, was zu einer Reduktion von Masse und Kosten führt. Außerdem erzeugt die APU einen kleinen Schub, der zur Erhöhung der Einschussgenauigkeit von Satelliten und für einige Missionen zum Deorbiting der Oberstufe verwendet wird.

Der Antrieb der Oberstufe: Kryogen und wiederzündbar

Die Oberstufe der Ariane 6 mit dem neuen Vinci-Motor wird kryogen mit Flüssigwasserstoff und -sauerstoff angetrieben. Sie ist erstmals kryogen und wiederzündbar, wodurch sich bisher der Ariane verschlossene Missionsprofile wie etwa zum Aussetzen von 2 Hauptnutzlasten auf unterschiedlichen Umlaufbahnen oder ganzer Konstellationen von Satelliten im All eröffnen.

Vinci-Brennkammer

Die Vinci-Brennkammer basiert auf der seit über 30 Jahren bewährten

Technologie von HM7 und Vulcain. Diese wurde aber für die neue Ariane 6 weiterentwickelt. Der für Europa neue Expander-Kreislauf des Vinci-Triebwerks erfordert eine erhöhte Aufheizung des Kühlmittels Wasserstoff der Brennkammer, damit mit dieser Energie die Treibstoffpumpen über Turbinen angetrieben werden können. Dadurch kann der sonst übliche Gasgenerator entfallen. Diese verbesserte Kühlung sorgt auch gleichzeitig für eine sehr hohe Lebensdauer der Brennkammer. Für die mehrfache Zündung der Brennkammer in der Mission wird ein Zünder eingesetzt, welcher mit einer elektrisch beheizten Glühkerze betrieben wird. Glühkerzen werden im Prinzip für Dieselmotoren verwendet, für Vinci musste das Prinzip für den Betrieb im Weltraum bei deutlich höheren Temperaturen als normalerweise im PKW qualifiziert werden. Die Glühkerze erzeugt im Zünder eine Flamme aus gasförmigem Wasser- und Sauerstoff, welche dann die Brennkammer zündet.

Ebenfalls neu ist die Verbindung zwischen Brennkammer und Düse, da die Düse aus keramischem Material besteht, welches im Betrieb sehr heiß wird. Das Interface muss also einen enormen Temperaturunterschied über mehrere Zyklen aushalten können, ohne sich dabei nennenswert zu ver-

formen und dabei die Dichtigkeit zwischen den beiden Hauptkomponenten des Triebwerks gewährleisten. Schub und Treibstoff-Mischungsverhältnis des Triebwerks sollen im Flug aktiv präzise geregelt (und nicht nur gesteuert) werden, um die Resttreibstoffe in der Stufe bei Brennschluss zu minimieren. Dazu werden zusätzliche Messungen am Einspritzkopf realisiert. Die Strömungseigenschaften des Einspritzkopfs aus Ottobrunn müssen für diese Regelung in engen Grenzen liegen.

LST: Lasergestützte Oberflächenbehandlung

Um die unter allen Umständen perfekte Anhaftung von Isolationsmaterial auf den kryogenen Ariane 6-Tanks zu garantieren, bedarf es spezieller Vorbereitung der Aluminiumbasis. Im sogenannten LST-Verfahren wird anstelle bisheriger chemischer Verfahren die Aluminium-Struktur kryogener Tanks mit hochfrequenten Impulsen eines Infrarot-Lasers bearbeitet. Hochleistungs-Nd-YAG-Laser im Verbund mit 2D-Scannern sorgen dabei für die präzise Ausrichtung der Laserstrahlen. Auf Grundlage sehr intensiver Testreihen wurde schließlich das Verfahren für den Fertigungsprozess der Ariane 6 an allen europäischen Standorten freigegeben und in Bremen die entsprechende Anlage mit 300 Watt Laserleistung

installiert. Dieser Laser kann vier Quadratmeter Basismaterial pro Stunde behandeln. Im Anschluss daran wird der ETI-Thermalschutz ebenfalls im neuen Bremer Integrationszentrum aufgebracht.

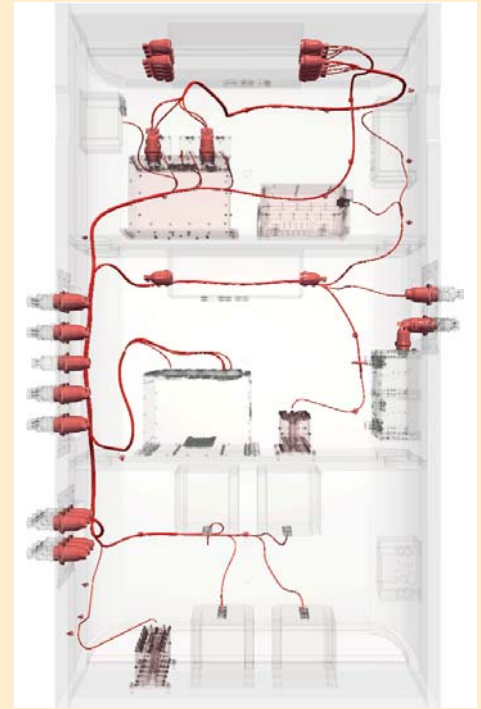
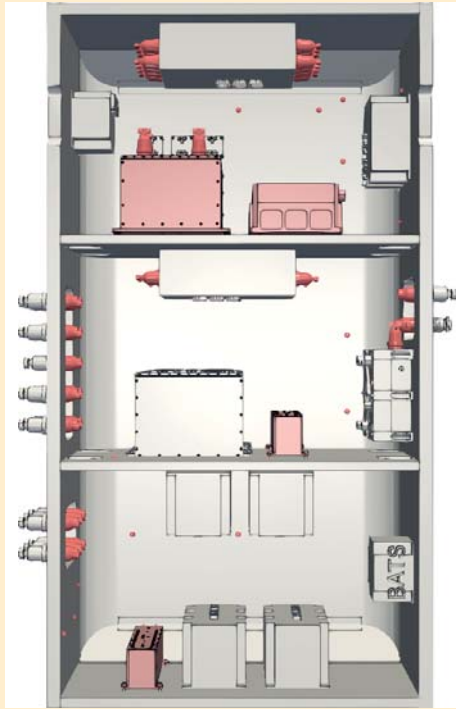
ETI

Der Name klingt ein wenig nach ScienceFiction. Allerdings handelt es sich bei diesem „ETI“ („External Thermal Insulation“) um eine wissenschaftlich fundierte Anwendung, die dank fast zehnjähriger Entwicklung durch das Unternehmen im Verbund mit ESA, DLR und anderen spezialisierten Partnern keine Fiktion mehr ist: Ein Polyurethan (PU)-Schaum, der in einem vollautomatisierten Sprühverfahren als Thermalschutz auf die zylindrischen Oberflächen von kryogenen Ariane 6-Tanks sowie Tankverbindungsstrukturen aufgetragen wird. Auf diese Weise wird der Treibstoff nach innen kalt gehalten und zudem außen am Träger auf der Abschussrampe im subtropischen Klima von Kourou die Eisbildung verhindert.

Dieses Verfahren wurde im März 2017 endgültig als Standard für die Thermalprotektion externer Ariane 6-Oberflächen festgelegt. Vollständig integriert in das Gesamtschema der Ariane 6-Produktion erlaubt es die Reduktion von Herstellungszeiten und -kosten um ein Vielfaches. Mitte des Jahres 2016 wurde eine erste robotische Sprühkabine bei ArianeGroup in Bremen eingerichtet. Die folgenden Testserien konnten bereits im September 2017 erfolgreich abgeschlossen werden.

Ausblick auf übermorgen: „Black Stage“ und vollautomatische Verkabelung

Entwicklung und Bau von Oberstufen für Trägerraketen ist seit jeher deutsche Kernkompetenz. Schon heute, gute zwei Jahre vor dem Erststart der neuen Ariane 6, geht es auch darum, die Oberstufen der übernächsten Generation vorzubereiten. Denn leichtere Oberstufen ermöglichen höhere Nutzlasten und/oder Kosteneinsparungen für (kleinere) Unterstufen. Sie helfen so, die deutsche Kompetenz



Das als Routing bezeichnete Verkabeln der mehr als 10 km elektrischer Leitungen allein im Upper Liquid Propulsion Module wird zukünftig vollautomatisch passieren. In kleineren Baugruppen wie dem „Gehirn“ der Ariane 6, angeordnet zwischen den beiden Tanks, wird schon heute der Entwicklungs- und Dokumentationsablauf um 75 % beschleunigt. Abb.: ArianeGroup und ILLS

für Oberstufen innerhalb Europas zu stärken und auszubauen.

Die erfolgreiche Entwicklung, der Bau und der Betrieb deutlich leichter und günstiger Oberstufen auf der Basis von Kohlefaser-Verbundwerkstoffen (CFK) unter dem Arbeitstitel „Black Stage“ insbesondere für die Tanks mit kryogenen Treibstoffen erfordert die Maturierung von Schlüsseltechnologien. Dies umfasst sowohl die Entwicklung von tieftemperaturtauglichen Materialien, die dicht und darüber hinaus mit den relevanten Treibstoffen kompatibel sind, die Entwicklung und Verifikation von Füge-, Inspektions- und Reparaturverfahren, Komposit-Lösungen mit 3D-Druckverfahren und vieles mehr. Über die Tanks hinaus können Entwicklungsprojekte zum Treibstoffmanagement, Leitungen in CFK-Technik, Thermalisolierung und ähnlichen Themen der Tankausstattung die Masse weiter reduzieren. Weitere Technologien wie kabellose Signalübertragung stehen in den Startlöchern.

Die Entwicklung von komplexen Systemen wie Trägerraketen ist auch im digitalen Zeitalter noch immer ein sehr iterativer Prozess, um das wirtschaftliche Optimum des Produkts zu errei-

chen. Wichtig ist es daher, Entscheidungen auf Systemebene schnell in das Design zu überführen. Aus diesem Grund entwickelt ArianeGroup in Zusammenarbeit mit kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) ein Verfahren zur Automatisierung von Designprozessen. Am Beispiel des Verlegens von mehr als 10 km Kabel wird in Abhängigkeit von geometrischen und Temperaturmodellen, Steckertypen, Einbaubedingungen usw. der optimale Weg der Kabel vollautomatisch berechnet. Jede Änderung des Designs kann innerhalb von Minuten durchgerechnet und bewertet werden. Ein Prozess, der früher Tage gedauert hat, erfolgt jetzt in Minuten. Mit dieser Effizienzsteigerung im Engineering ist die Raumfahrt anderen Hochtechnologieunternehmen weit voraus.

Mit einer Vielzahl von Neuerungen ist Europas Ariane 6 auf dem Weg in eine erfolgreiche Zukunft. Der Schub dafür kommt aus Deutschland.



Ariane 6-Animation