

Horizon 2020:

Die EU fördert zukunftssträngige Raumfahrttechnologien Teil 1: Elektrische Antriebe

Von Lisa Martín Pérez und Marc Jochemich

Innovation fördern – das hat sich die Europäische Kommission mit dem Nachfolger zum 7. Forschungsrahmenprogramm auf die Fahnen geschrieben. War der Vorläufer noch vollständig auf Forschungsförderung ausgerichtet, so zeichnet sich Horizon 2020 durch eine starke Unterstützung der Industrie aus, um europäischen Firmen den Weg in Zukunftsmärkte zu bahnen. Dafür sollen neue Technologien angestoßen und so konkreten Raumfahrtprojekten eine langfristige Perspektive gegeben werden. Als besonders zukunftssträngig werden die Raumfahrttechnologien Elektrische Antriebe und Robotik angesehen. Daher wurden zwei Strategic Research Cluster (SRC) zu diesen Themen eingeführt. Diese strategischen Forschungsnetzwerke werden von sogenannten Programme Support Activities (PSAs) vorbereitet, überwacht und koordiniert. Rund 100 Millionen Euro sind der Europäischen Kommission diese Innovationsmaßnahmen wert. Dabei werden die PSAs als eigenständige Projekte aus Horizon 2020 finanziert. Das DLR Raumfahrtmanagement beteiligt sich an beiden PSAs.

Horizon 2020:

The EU funds promising space technologies Part 1: Electric propulsion

By Lisa Martín Pérez and Marc Jochemich

Promoting innovation is the new watchword in the European Commission's follow-up to the Seventh Framework Programme for Research. While the last programme aimed entirely at promoting scientific research, Horizon 2020 is geared towards providing support for the industry, paving the way for European companies to get ready for future markets. The aim is to promote a range of new technologies that will give future space projects a long-term perspective. Among these, electric propulsion systems and robotics are regarded as particularly promising. Consequently, two strategic research clusters (SRCs) were created to address these subjects. Relevant strategic research networks are being set up, monitored, and co-ordinated within two so-called Programme Support Activities (PSAs). The European Commission is willing to invest about 100 million euros into these innovation initiatives. The PSAs are being funded under Horizon 2020 as stand-alone projects. The DLR Space Administration contributes to both PSAs.

Der Heinrich-Hertz-Satellit wird nicht mit dem standardmäßigen chemischen Antrieb, sondern mit einem chemisch-elektrischen Antrieb gebaut. Diese innovative Kombination spart Masse ein und erhöht damit die Nutzlastkapazitäten für Technologien und Experimente. Das Plasma-Triebwerk HEMP soll in der Heinrich-Hertz-Mission seine Weltraumtauglichkeit beweisen.

The Heinrich Hertz satellite is not built with a conventional chemical propulsion system but with a combined chemical and electric engine. This innovative thruster technology reduces a satellite's mass and thus gives it extra payload capacity for technology demonstration and experiments. The HEMP plasma thruster should demonstrate its space-readiness on the Heinrich Hertz mission.



Autoren: **Marc Jochemich** arbeitet in der Abteilung für EU-Angelegenheiten und unterstützt die Durchführung von EPIC. Er berät deutsche Interessenten in Horizon 2020 unter anderem im Bereich elektrische Antriebe. **Lisa Martín Pérez** ist die Vertreterin in der PSA EPIC. Sie leitet und betreut innovative nationale Projekte im Fachgebiet Elektrische Antriebe in der Abteilung Technik für Raumfahrtsysteme und Robotik.

Authors: From his office at DLR's department of EU Affairs, **Marc Jochemich** oversees the implementation of EPIC. He helps advising German interested parties in the Horizon 2020 programme, e.g. for electric propulsion. **Lisa Martín Pérez** is a delegate at the EPIC PSA. She conducts and oversees innovative national projects in the field of electric propulsion at the Space Administration's department of Space Systems and Robotics.

Elektrische Antriebe – Zukunftsmotor für die Raumfahrt?

Damit Satelliten mit einer Trägerrakete ihre Umlaufbahn erreichen, müssen sie die Schwerkraft und den Luftwiderstand überwinden. Für die notwendige Beschleunigung werden chemische Triebwerke mit hoher Schubkraft eingesetzt. Sie tragen Rakete und Satellit in die geplante Umlaufbahn. Doch wenn sie dort angekommen sind, können Orbit und Ausrichtung des Satelliten im Vakuum mit elektrischen Triebwerken wesentlich effektiver als mit chemischen gesteuert werden.

Der große Vorteil der elektrischen Plasmaantriebe liegt in ihrem geringen Treibstoffverbrauch: Diese Triebwerke erreichen einen höheren spezifischen Impuls als chemische Antriebe, was dazu führt, dass die Treibstoffmasse erheblich sinkt. Der spezifische Impuls bestimmt die Effizienz von Triebwerken als Maß für die Ausnutzung der Treibstoffmasse. Er ist proportional zur Austrittsgeschwindigkeit des Treibstoffs und bezogen auf die Erdbeschleunigung ergibt sich seine Maßeinheit in Sekunden. Chemische Triebwerke können höchstens 470 Sekunden erreichen, das deutsche High Efficiency Multi Stage Plasma (HEMP)-Triebwerk erzielt derzeit 2.300 Sekunden. Mit HEMP, aber auch mit anderen Technologien für elektrische Triebwerke (wie dem Hall-

Electric propulsion – powering future missions?

For a satellite to reach its orbit on a launcher, it is necessary to defeat both gravity and air drag. The requisite acceleration is provided by chemical engines generating a powerful thrust, carrying both the rocket and the satellite up to their assigned orbit. Once a satellite has arrived there, however, its orbit and attitude may be controlled in vacuum considerably more effectively by electric rather than by chemical propulsion systems.

The great advantage of electric plasma propulsion systems is their low fuel consumption: these thrusters generate a higher specific impulse than chemical propulsion, which leads to a lower fuel mass of the propulsion system. The efficiency of an engine is determined by the specific impulse, a measure for the economic utilisation of the available propellant mass. The specific impulse is proportional to the exhaust velocity of the fuel and related to gravitational acceleration. It is measured in seconds. While chemical thrusters reach 470 seconds at best, the German-built High Efficiency Multi Stage Plasma (HEMP) thruster is currently at 2300 seconds. Depending on their configuration, HEMP as well as other electric technologies (like the Hall Effect thruster HET and Radio Frequency Ion Thruster RIT) can achieve



Die EU-Kommission will Raumfahrttechnologien zur Marktreife bringen. Dafür setzt sie in Horizon 2020 auf Industrieförderung, um europäischen Firmen den Weg in Zukunftsmärkte zu bahnen. Dafür sollen neue Technologien angestoßen und so konkreten Projekten eine langfristige Perspektive gegeben werden.

The EU Commission aims to help develop space technology to marketability. Under its Horizon 2020 programme, it offers financial support to industry, opening the door for European firms to future markets. It is hoped that the measure will kick-start the development of new technologies and offer a long-term perspective for space projects.

Effekt-Triebwerk HET und dem Radiofrequenz-Ionenantrieb RIT) sind je nach Auslegung sehr viel höhere Werte möglich, die – insbesondere bei interplanetaren Missionen – Satelliten auf Geschwindigkeiten beschleunigen können, die mit chemischen Antrieben unerreichbar sind. Aus diesem Grund werden elektrische Antriebe bei Langzeitmissionen eingesetzt, wo grundsätzlich nur ein begrenzter Treibstoffvorrat an Bord mitgeführt werden kann.

Rein in den Satellitenkommunikationsmarkt

Die benötigte elektrische Energie können die Satelliten während der Mission durch ihre Solarpaneele gewinnen. Die installierte elektrische Leistung für die Versorgung der Systeme in den Satelliten ist in den letzten Jahren so stark angestiegen, dass sie effizient zum Antrieb genutzt werden kann. Dadurch konnten elektrische Antriebe zunehmend an Bedeutung gewinnen und ihre Anwendungsbereiche signifikant erweitert werden. Neben der Lagehaltung der Satelliten und dem Antrieb von Raumsonden fliegt seit 2015 der erste elektrisch angetriebene Kommunikationssatellit, der nach dem Aussetzen von der Trägerrakete eigenständig seinen Zielorbit erreicht hat.

Für die kommenden Jahrzehnte ist damit zu rechnen, dass voll-elektrisch angetriebene Satelliten sich gegenüber herkömmlichen Satelliten durchsetzen werden. Die einzelnen Triebwerke, die für diese Anwendung eingesetzt werden, erzeugen dabei einen Schub von 25 Gramm mit Xenon-Gas. Wegen dieses relativ kleinen Schubs müssen sie für längere Zeit eingeschaltet werden, um die gleiche Bewegung wie mit chemischen Triebwerken zu erreichen. Durch einen Wechsel von chemischen auf elektrische Triebwerke kann daher das Gewicht eines Satelliten um mindestens 40 Prozent verringert werden. Zudem kann die Lebensdauer der Satelliten um bis zu 20 Prozent erhöht werden. Genau das macht diese elektrischen Antriebe für die Satellitenhersteller – und somit auch für die Europäische Kommission – so interessant, denn durch den Einbau dieser leichten Triebwerke

an even better performance, particularly on interplanetary missions, enabling them to accelerate satellites to velocities way beyond those of any chemical thruster. This makes electric propulsion systems a great solution for long-term missions on which the amount of propellant that can be carried on board is strictly limited.

Into the market for satellite communications

During a mission, satellites can generate all the electrical energy their instruments need with their solar panels. The electrical capacity installed in satellites to supply their systems has increased enough in recent years for it to be used efficiently for propulsion purposes as well. This has made electric propulsion systems increasingly attractive, and their range of applications has expanded significantly. Besides keeping satellites in their position and the propulsion of space probes, 2015 saw the first electrically powered communications satellite that reached its target orbit under its own power after its release from the launcher.

In the coming decades, we may expect all-electric powered satellites to gradually supersede conventional satellites. The propulsion systems used in these applications generate a thrust of 25 grammes, using xenon gas. Because of their relatively low thrust, they must be kept running for longer periods to achieve the same propulsion as chemical systems. Yet, by switching from chemical to electric thrusters, the weight of a satellite may be reduced by at least 40 per cent. Moreover, the lifetime of a satellite may be lengthened by up to 20 per cent. This is exactly why satellite manufacturers – and, by extension, the European Commission – are so interested in electric propulsion, because these systems permit either increasing payload or making satellites smaller and lighter.

So far, only one satellite is orbiting the Earth with a fully electric thruster system. Further launches have been planned. Hybrid

kann entweder mehr Nutzlast mitgenommen oder der Satellit kleiner und leichter gebaut werden.

Bislang umkreist erst ein Satellit mit ausschließlich elektrischem Antrieb die Erde. Für weitere sind die Starts bereits geplant. In Kombination mit chemischen Antrieben haben elektrische Antriebe jedoch schon in mehreren Missionen ihre Tauglichkeit unter Beweis gestellt. Dennoch müssen diese Triebwerke weiterentwickelt und verbessert werden, um zum Standardantrieb vor allem in Telekommunikationssatelliten zu werden. So soll der größte Raumfahrtmarkt in dieser Sparte erschlossen werden. Einen weiteren interessanten Markt bildet der Einsatz von zuverlässigen, einfachen und vor allem kostengünstigen elektrischen Antriebssystemen Satellitenkonstellationen im niedrigen Erdorbit (Low Earth Orbit, LEO).

Drei Antriebstechnologien fast marktreif

Das High Efficiency Multi Stage Plasma (HEMP)-Triebwerk ist neben den Hall-Effekt-Triebwerken (HET) und der Radiofrequenz-Ionenantriebs-Technologie (RIT) eine von insgesamt drei Antriebstechnologien, die im SRC zu den elektrischen Antrieben – auch „In-space electrical propulsion and station-keeping“ genannt – in Horizon 2020 gefördert und als „incremental“ angesehen werden. Das bedeutet, dass die Europäische Kommission diese Technologien als fortgeschrittene Zukunftstechnologien auserkoren hat. Sie haben ein hohes Technologiereifelevel und gelten damit als fast marktreif. Die Forschungsarbeiten in Deutschland konzentrieren sich neben HEMP noch auf die Verbesserung der bereits im Orbit eingesetzten RIT-Triebwerke, an denen auch die Universität Gießen und Airbus DS beteiligt sind. Beide Triebwerke haben ein beachtliches Potenzial. Dank der Spezialisierung der deutschen Industrie, Forschungszentren und Universitäten ist die Entwicklung der Systemkomponenten so weit fortgeschritten, dass ein komplettes Antriebssystem in Deutschland gebaut werden kann.

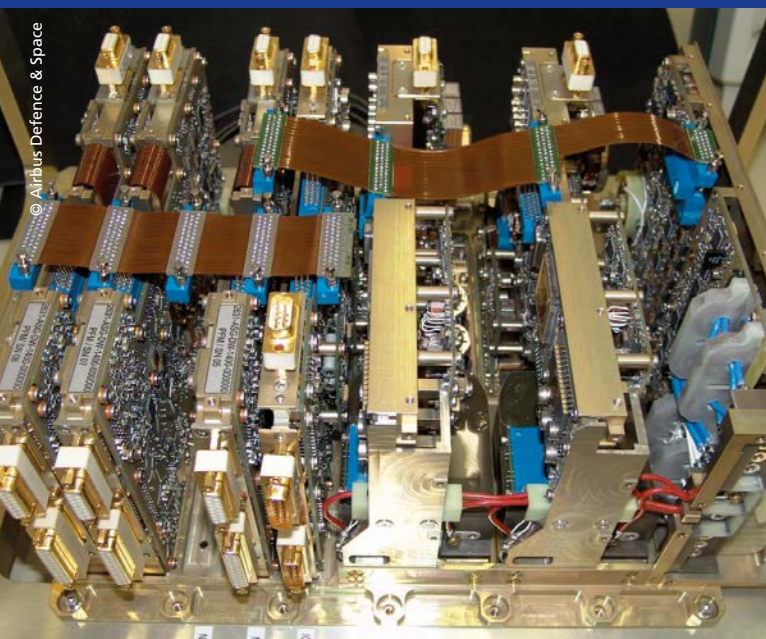
systems of electric thrusters in combination with chemical drives have already proven their worth on several missions. Yet, these systems need to be developed and improved further if they are to be installed as standard thrusters especially in telecommunication satellites. All this will eventually open up a substantial new space technology market. The installation of reliable, uncomplicated, and – most importantly – cost-efficient electric propulsion systems in Low-Earth-Orbit satellite constellations will be another interesting market.

Three propulsion technologies nearly ready for the market

Besides the Hall Effect (HET) and the Radio Frequency Ion (RIT) technology, the High Efficiency Multi Stage Plasma (HEMP) thruster constitutes one of three propulsion technologies belonging to the ‘In-Space electrical propulsion and station-keeping’ research cluster – funded under Horizon 2020 and regarded as ‘incremental’. This means that the European Commission has decided to rate these technologies as advanced technologies of the future. Their technology readiness level is high, their marketability is imminent. Besides HEMP, research activities in Germany focus on improving the RIT thrusters that are already used in orbit, with Gießen University and Airbus DS participating. Both systems have considerable potential. Thanks to the expertise of Germany’s industry, research centres, and universities, system components have now matured to a level where a complete electric thruster system can be built in Germany.

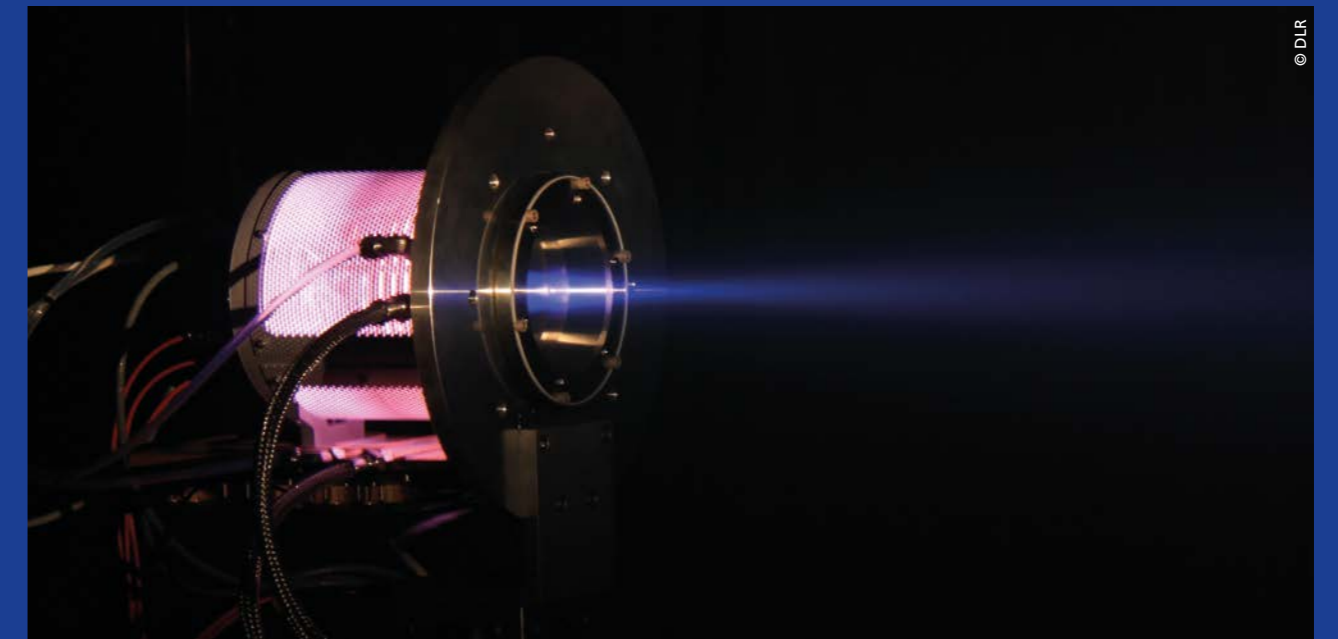
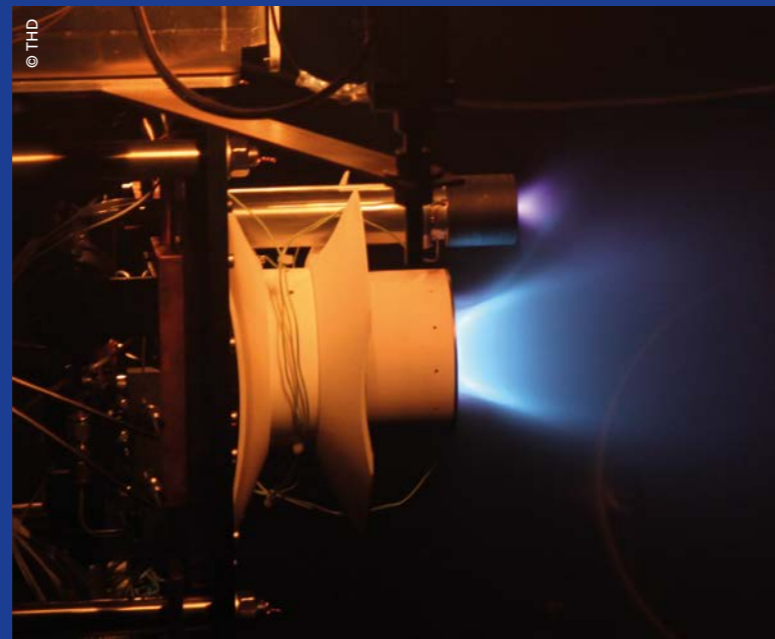
DLR shores up support for German technology

However, the technologies sponsored in the electric thruster segment include some that are less mature. Funding policies are not too restrictive, leaving elbow room for concepts rated as disruptive, from which, it is hoped, revolutionary ideas will emerge which could massively benefit present engineering efforts, and even make some existing technologies entirely obsolete. All these projects are collected and co-ordinated within the SRC,



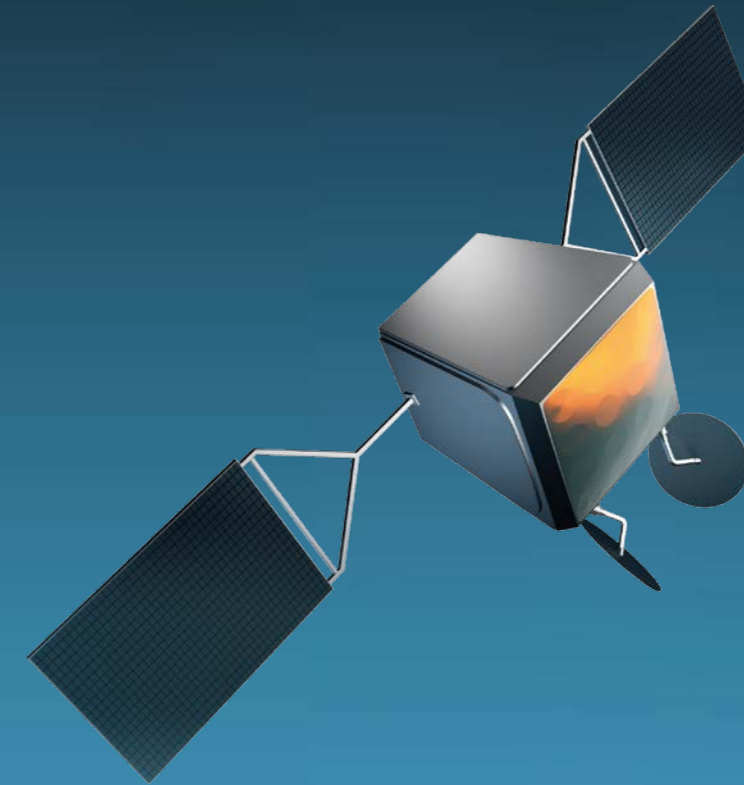
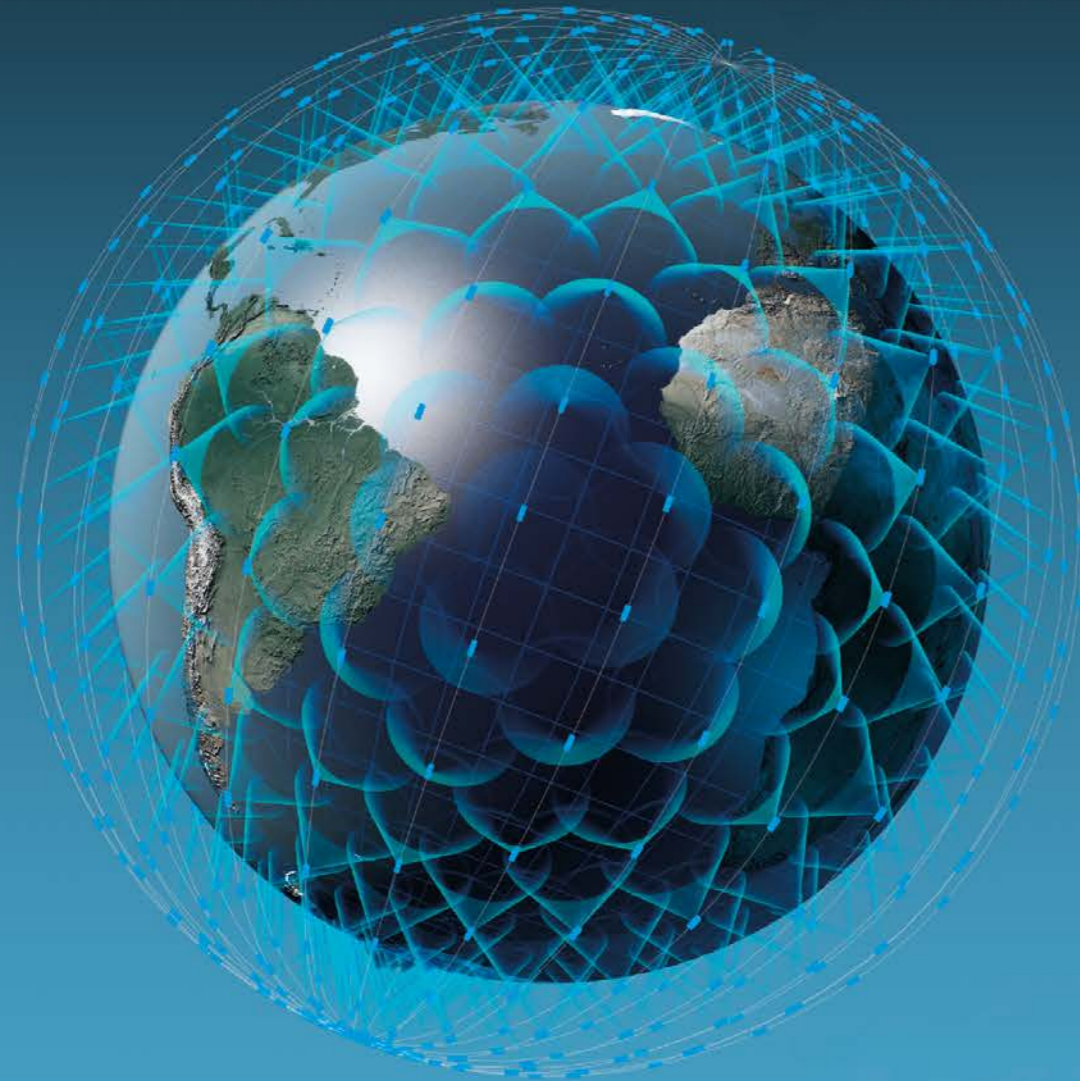
Das positiv geladene Xenon-Gas wird durch ein sehr starkes Magnetfeld in dem zylindrischen Entladungskanal konzentriert gehalten. Beim HEMP-Prinzip wird ein 1,2-Tesla-starkes Magnetfeld durch Permanentmagnete erzeugt. Am gegenüberliegenden Ende des Kanals sammeln sich die negativ geladenen Elektronen durch die besondere Topologie des Magnetfeldes und erzeugen ein großes elektrisches Potenzial, indem die Xenon-Ionen beschleunigt werden und Schub erzeugen. Tritt das ionisierte Gas am Ende des Kanals aus, gibt ein Neutralisator jedem Atom seine Elektronen zurück. Die umfangreiche Hochspannungselektronik ist dafür auf engstem Raum untergebracht. Das Gehäuse in Größe eines Schuhkartons beinhaltet Einsteckplatinen und Verbindungselemente.

In this cylindrical discharge tube, xenon gas, which carries a positive charge, is concentrated and held in place by a very strong magnetic field. The HEMP principle is based on permanent magnets generating a 1.2-Tesla magnetic field. Thanks to the special topology of that magnetic field the negatively charged electrons gather at the opposite end of the tube, thus generating a high electric potential, whereby the xenon electrons are accelerated and generate thrust. As the ionised gas escapes at the end of the tube, a neutraliser gives each atom their electrons back. The complex high-voltage electronic system required for this apparatus is accommodated within a very compact space. Its shoebox-sized housing is tightly packed with all the necessary circuit boards and connectors.



Ein Radiofrequenz-Ionen-Triebwerk aus der RIT-10-Familie wird in einer Testkammer des DLR-Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik in Göttingen getestet. Mit dem RIT-10-Antrieb von Airbus Defence & Space Lampoldshausen wurde ein Satellit (ARTEMIS) zum ersten Mal elektrisch auf seinen Zielorbit gebracht, nachdem der chemische Antrieb, der für diese Aufgabe vorgesehen war, versagte. Das RIT-10 war ursprünglich nur für Bahnkorrekturen vorgesehen, lieferte aber den Antrieb für die fehlenden 5.000 Kilometer zum Zielorbit und funktioniert immer noch.

Trial of a radio frequency ion engine of the RIT-10 family in the test chamber at the DLR Institute of Aerodynamics and Flow Technology in Göttingen. A RIT-10 thruster built by Airbus Defence & Space in Lampoldshausen was the first one used in a satellite (ARTEMIS) to move it into its target orbit after its chemical engine that was intended for the purpose failed. Originally, the RIT-10 had only been installed as an auxiliary thruster for orbital correction, but proved capable of providing enough thrust to cover the last 5000 kilometres to the target orbit, and is still working.



Elektrische Antriebe bringen flächendeckendes Internet weltweit in den richtigen Orbit: Airbus Defence & Space und das US-Unternehmen OneWeb haben ein Joint Venture geschlossen, um die Welt ab 2018 in nur zwei Jahren flächendeckend vom niedrigen Erdorbit mit schnellem Internet zu versorgen. Dafür werden sie 900 Satelliten bauen – vier pro Tag, 648 davon sind immer aktiv. Die restlichen dienen als Ersatz. Jeder Satellit wiegt weniger als 150 Kilogramm. Dieses geringe Startgewicht und der günstige Preis von 400.000 bis 500.000 Euro pro Orbiter sind nur möglich, weil sie komplett elektrisch angetrieben werden. Dieser Antrieb wird die Satelliten von 500 Kilometer auf 1.200 Kilometer Höhe anheben. 2018 sollen die ersten Starts von Ariespace und Virgin Galactic ausgeführt werden. Ariespace wird dafür 21 Sojus vom europäischen Weltraumbahnhof in Kourou ins All bringen. Optionen für fünf weitere Sojus und drei Ariane-6-Starts stehen noch aus.

Electric propulsion systems provide the world with area-wide Internet coverage from orbit. In a joint venture, Airbus Defence & Space and the US-based company OneWeb are planning to offer world-wide fast Internet coverage in a mere two years starting 2018 from a Low Earth Orbit. To make this work, they intend to build 900 satellites – four per day, 648 of them will be permanently active. The remaining satellites will be on stand-by. Each satellite weighs less than 150 kilograms. The low launch weight and the low price of between 400,000 and 500,000 euros per satellite can only be achieved because the satellites are exclusively electrically powered. Electric thrusters will lift the satellites from 500 kilometres to 1,200 kilometres. The first series of launches are to be conducted by Ariespace and Virgin Galactic in 2018. Ariespace will launch 21 Soyuz rockets from Europe's spaceport in Kourou. Further options include another five Soyuz and three Ariane-6 launches further down the line.

DLR sichert deutsche Technologien

Im Bereich elektrische Antriebe werden aber auch Technologien gefördert, die noch nicht so weit fortgeschritten sind. Hier sind die Grenzen nicht so eng gesteckt. Dieser Freiraum für die als „disruptive“ eingestuften Triebwerkskonzepte soll ganz neue, revolutionäre Ideen hervorbringen, um bestehende Entwicklungen zu verbessern oder gar rückständige Technologie ganz zu ersetzen. Diese ganzen Projekte werden im SRC zusammengeführt, koordiniert und in später folgenden Ausschreibungen ausgewählt, um ein gemeinsames, übergeordnetes Ziel zu erreichen: bis zum Jahr 2023 elektrische Antriebssysteme aus Europa als feste, wettbewerbsfähige Komponente im globalen Satellitenmarkt zu positionieren.

In der PSA „Electric Propulsion Innovation & Competitiveness“ (EPIC) begleitet das DLR Raumfahrtmanagement seit Oktober 2014 diese Entwicklung im strategischen Forschungscluster, um die in Deutschland geförderten und entwickelten Technologien zu vertreten und so die Chancen der deutschen Raumfahrtindustrie auf eine erfolgreiche Vermarktung ihrer Technologien zu erhöhen.

Die Europäische Weltraumorganisation ESA ist der EPIC-Projekt-kordinator des auf fünf Jahre ausgelegten Projekts. Partner sind neben dem DLR die europäischen Raumfahrtagenturen Agenzia

and kept at the ready for future calls. The common, overarching goal is to establish electric propulsion systems from Europe permanently as competitive components on the global satellite market by 2023.

Under the ‘Electric Propulsion Innovation & Competitiveness’ (EPIC) project, the DLR Space Administration has been closely following and supporting developments in this strategic research cluster since October 2014, representing technologies developed and funded in Germany and working to improve the German space industry's chances to market its technologies successfully.

The EPIC project, which is scheduled for a term of five years, is co-ordinated by the European Space Agency. Besides DLR, partners include the European space agencies Agenzia Spaziale Italiana (ASI), Belgian Science Policy (BELSPO), Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), Centre National d'Études Spatiales (CNES) and UK Space Agency (UKSA) as well as two industrial associations, ASD Eurospace and SME4space.

Spaziale Italiana (ASI), Belgian Science Policy (BELSPO), Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), Centre National d'Études Spatiales (CNES) und UK Space Agency (UKSA) sowie die Industrieverbände ASD-Eurospace und SME4space.

Entscheidung im Sommer 2016

EPIC hat in seinem ersten Projektjahr einen übergreifenden Arbeits- und Umsetzungsplan für das strategische Forschungscluster – die sogenannte SRC Roadmap – ausgearbeitet. Zu den weiteren Aufgaben gehören die Beratung der Europäischen Kommission bei den Ausschreibungen für die Zuwendungen sowie die Sicherstellung, dass die Ergebnisse kompatibel sind und zur Erreichung des übergeordneten Ziels des SRC beitragen. Diese Projekte werden von der Europäischen Kommission in Form von Forschungs- und Innovationsmaßnahmen (100-prozentige Zuwendung) und reinen Innovationsmaßnahmen (70-prozentige Zuwendung) ausgeschrieben. Das Gesamtbudget des SRC für elektrische Antriebe bewegt sich in der Größenordnung von circa 60 Millionen Euro, verteilt auf zwei oder drei Ausschreibungen in den kommenden fünf Jahren. Die erste und richtungsweisende hat am 15. November 2015 begonnen und endete am 3. März 2016. In den nächsten Monaten wird sich entscheiden, ob deutsche Technologien am zukünftigen europäischen Markt für elektrische Antriebe teilhaben werden.

Choices to be made in summer 2016

In its first year, EPIC has developed an interdisciplinary work and implementation plan for the strategic research cluster called the SRC roadmap. Additional tasks include advising the European Commission on proposals received, and ensuring that results are compatible and contribute towards achieving the SRC's ultimate goal. The European Commission issues calls for proposals under two grant funding programmes, either for research and innovation measures (100 per cent funding) or for pure innovation measures (70 per cent funding). The total budget of the SRC for electric thruster systems amounts to approximately 60 million euros, shared out among two or three calls over the next five years. A first important call was that of November 15, 2015, which ended on March 3, 2016. The following months will decide whether or not German technologies will get a share in the future European market for electric propulsion systems.