

LOEWE

ABSCHLUSSBERICHT



**LOEWE-Schwerpunkt
RITSAT – Raumfahrt Ionenantriebe – Plasmaphysikalische
Grundlagen und zukünftige Technologien**

Inhalt

- 2 Statement des Koordinators
- 3 Projektinhalte
- 3 Wissenschaftlich-technische Ausgangslage
- 3 Im Rahmen des LOEWE-Projekts erreichte Erkenntnisse und getätigte Entwicklungen
- 5 Erreichte Strukturentwicklung
- 6 Erreichte Bedeutung/Stellung im Themen-/Forschungsfeld
- 6 Wichtigste Meilensteine des Projekts
- 8 Weitere Informationsmöglichkeiten
- 8 Zahlen und Fakten
- 9 Kurzvorstellung der beteiligten Hochschulen und Forschungsinstitute
- 11 Impressum

Zukünftige Raumfahrt-Forschungsmissionen und Telekommunikationssatelliten werden auf neuartige, hocheffiziente Triebwerke angewiesen sein. Bei Manövrierung und Antrieb von Raumfahrzeugen im All spielen die genaue Schubdosierbarkeit und die dauerhafte Funktion eine wichtige Rolle. Hier haben die elektrischen Ionentriebwerke massive Vorteile gegenüber chemischen Verbrennungstriebwerken. Das vor über 50 Jahren in Gießen entwickelte Radiofrequenz-Ionentriebwerk (RIT) gehört hier zu den aussichtsreichsten Antriebsprinzipien. Es bildet den wissenschaftlichen Mittelpunkt des LOEWE-Schwerpunkts „RITSAT – Raumfahrt-Ionenantriebe – Plasmaphysikalische Grundlagen und zukünftige Technologien“ und die Keimzelle eines wissenschaftlichen Kompetenzzentrums für Raumfahrt- und Plasmaphysik an der Justus-Liebig-Universität Gießen (JLU). Während der Projektlaufzeit von 2012 bis 2014 hat RITSAT nicht nur das RIT-Konzept einem kommerziellen Einsatz entscheidend näher gebracht, sondern mit drei neu eingerichteten Professuren auch die notwendigen Strukturen geschaffen, um das Themengebiet in Forschung, Entwicklung und Lehre vollständig abzudecken. Die Technische Hochschule Mittelhessen (THM) ist und bleibt im Rahmen kooperativer Promotionsprojekte in die Entwicklung elektronischer Komponenten – wie Leistungsversorgung und Strahlsteuerung – in das Forschungsprogramm eingebunden. Durch die vertraglich vereinbarte Kooperation mit dem DLR Göttingen und der Firma Airbus ist die Verstetigung der Grundlagenforschung zu Ionenantrieben nach Auslaufen der LOEWE-Förderung gesichert. Dies betrifft in besonderer Weise die Erforschung preisgünstiger organischer Treibstoffe als Alternative zum teuren Edelgas Xenon – eine Entdeckung, die während der Laufzeit von RITSAT patentiert wurde und die der RIT-Technologie in der kommerziellen Raumfahrt zum Durchbruch verhelfen könnte.



Wir und unsere Kooperationspartner sind optimistisch, dass bereits in einigen Jahren zahlreiche Satelliten bzw. Raumsonden mit RIT-Antriebstechnologie im Erdorbit und darüber hinaus unterwegs sein werden.

Mit freundlichen Grüßen,
Ihr Peter J. Klar

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Peter J. Klar'. The signature is fluid and cursive.

Prof. Dr. Peter J. Klar
Koordinator des LOEWE-Schwerpunkts RITSAT
Justus-Liebig-Universität Gießen



Vakuumkammer an der Justus-Liebig-Universität

Projekthinhalte

Wissenschaftlich-technische Ausgangslage

Das Radiofrequenz-Ionen-Triebwerk (RIT) ist einer von weltweit vier konkurrierenden Ionentriebwerkstypen für Raumfahrzeuge. Das technische Prinzip des RIT wurde Anfang der 1960er-Jahre von Horst Löh an der JLU erfunden. Beim RIT wird in einem schnell oszillierenden Magnetfeld durch Ionisation eines Treibstoffgases ein sogenanntes Plasma erzeugt. Durch ein regelbares elektrisches Feld wird ein Teil der positiv geladenen Ionen des Plasmas ausgestoßen, wodurch ein Rückstoß (Schubkraft) entsteht. In den folgenden Jahrzehnten wurden RIT verschiedener Leistungsklassen in Gießen konstruiert, getestet und auf einzelnen Satelliten zum Einsatz gebracht. Während die Grundlagen an der Universität erforscht wurden, übernahmen Industrieunternehmen – allen voran die EADS-Astrium GmbH (heute Airbus D&S GmbH) – die technische Umsetzung und Qualifizierung für reale Einsatzbedingungen im Weltraum. So konnte beispielsweise beim Launch des Kommunikationssatelliten Artemis im Jahr 2002 gezeigt werden, dass sich das RIT nicht nur zur Lageregelung, sondern auch zum „Aufspiralen“ auf eine höhere Umlaufbahn um die Erde eignet. Aufgrund ständig steigender technischer Anforderungen in den Missionen wie Lebensdauer (längere Flugzeiten), höhere Strahlgeschwindigkeiten, Gewichtseinsparungen (höhere Nutzlasten), Schubdosierbarkeit (Positionsgenauigkeit) sind Ionentriebwerke chemischen Triebwerken in vielen Anwendungen weit überlegen und sind entscheidend für den Erfolg mehrerer wissenschaftlicher

Weltraummissionen. Unbestritten ist die RIT-Technologie den anderen drei Ionentriebwerkstypen mittel- und langfristig überlegen, insbesondere aufgrund hoher Wirkungsgrade, hoher Zuverlässigkeit und langer Lebensdauer. Zu Projektbeginn von RITSAT waren zahlreiche Herausforderungen, die für die Verbreitung von RIT in der Raumfahrt entscheidend sind, noch ungelöst, z. B.

- die Miniaturisierung von RIT für kleine, fein dosierbare Schübe
- die Nutzung atmosphärischer Gase als Treibstoff, um beim Betrieb von Satelliten in den oberen Atmosphärenschichten auf mitgeführten Treibstoff verzichten zu können
- die hohen Kosten für den von RIT verwendeten Treibstoff (i. d. R. das Edelgas Xenon)
- die Konstruktion von großen RIT mit starken, langanhaltenden Schubkräften, wie sie etwa bei interplanetaren Missionen erforderlich sind
- die theoretische Berechnung der Plasmaeigenschaften im Triebwerk

Zudem existierten zum genannten Zeitpunkt an der JLU noch keine Strukturen, um den Bereich der Raumfahrt- und Plasmaphysik in Forschung und Lehre umfassend abzudecken.

Im Rahmen des LOEWE-Projekts erreichte Erkenntnisse und getätigte Entwicklungen

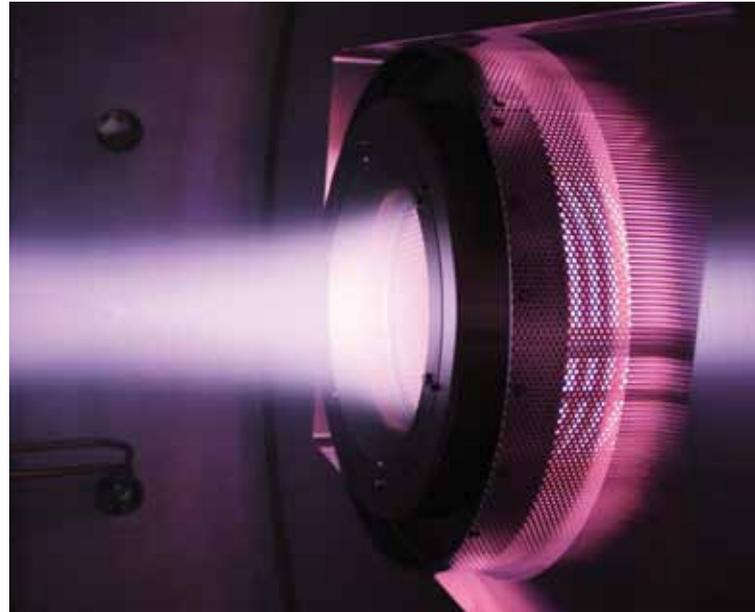
Die dreijährige LOEWE-Projektförderung verhalf der Gießener Ionentriebwerksforschung und den daran angrenzenden Teilgebieten der Physik zu einem kräftigen Entwicklungsschub. Sie wurde – insbesondere

gegen Ende der Förderperiode – von umfangreichen Drittmiteleinwerbungen ergänzt. Eine hochkomplexe Technologie wie das Ionentriebwerk umfasst naturgemäß zahlreiche Forschungsfelder, z. B. die Plasmaphysik, die Elektronik, die Thermodynamik und die Festkörper- bzw. Metallphysik. Zudem lassen sich im Labor erzielte Ergebnisse in der Raumfahrt erst in Zeiträumen von Jahrzehnten in marktreife Produkte umsetzen. Daher existiert nicht das eine, große Ergebnis des Projektes, sondern vielmehr zahlreiche größere oder kleinere Fortschritte bei verschiedensten Aspekten des Gesamtsystems.

Es wurde gezeigt, dass die Miniaturisierung von RIT bis herunter zu einem Durchmesser des Plasmagefäßes von 2,5 cm technisch beherrschbar ist und sich die Schubkräfte im Bereich weniger Mikronewton (μN) mit angepasster Elektronik fein regeln lassen. Mit der in der Raumfahrt notwendigen Weltraumqualifizierung, die nur ein erfahrenes Industrieunternehmen leisten kann, wird der Einsatz der μN -RIT-Technologie an Forschungssatelliten in einigen Jahren möglich sein.

Durch optimierte Gittersysteme wurden RIT für die Verwendung von Gasgemischen (Stickstoff-Sauerstoff), wie sie in den oberen Atmosphärenschichten vorherrschen, ausgelegt. In ersten 500-Stunden-Langzeittests traten keine Störungen auf. Zukünftig wird es somit prinzipiell möglich sein, RIT ohne eigenes Treibstoffreservoir an Satelliten in niedrigen Orbits mit dem dort vorhandenen Restgas zu betreiben. Dies kann zu erheblichen Einsparungen bei Masse und Kosten beitragen.

Ein noch größeres Potenzial zur Kostenoptimierung verspricht die Substitution des teuren Edelgases Xenon durch preisgünstige Alternativtreibstoffe. Als vielversprechende Kandidaten wurden Diamantoide, wie z. B. Adamantan, identifiziert. Diese fallen in großen Mengen als Nebenprodukte der Erdölraffination an und können leicht zum erforderlichen Reinheitsgrad veredelt werden. RIT verschiedener Schubklassen wurden im Rahmen von RITSAT unter Laborbedingungen mit Adamantan gezündet. Erste plasma-diagnostische Ergebnisse waren so überzeugend, dass Airbus D&S und das DLR Fördergelder in Höhe



von insgesamt ca. 290.000 Euro in die Weiterentwicklung Diamantoid-betriebener RIT an der JLU investieren werden.

Um die RIT-Technologie für den Antrieb der in ferner Zukunft liegenden interplanetaren Missionen mit bemannten Raumschiffen vorzubereiten, wurde ein Großtriebwerk RIT-35 konstruiert (die Zahl hinter dem Bindestrich gibt bei RIT den Durchmesser des Plasmagefäßes in cm an) und als Prototyp gefertigt. Mit Hilfe der LOEWE-Förderung konnte die aufwendige elektronische Energieversorgung, die für ein Hochleistungs-RIT erforderlich ist, aufgebaut werden. Gleiches gilt für die zugehörige Triebwerksdiagnostik, für die elektrische, thermische sowie optisch-spektroskopische Messplätze eingerichtet wurden.

Massive Fortschritte wurden ebenfalls in der Computer-Modellierung des Verhaltens des Plasmas in einem Triebwerk sowie des Ionenstrahls außerhalb des Triebwerks erzielt. In der Plasmatheorie-Gruppe wurde die einzigartige Software „Plasma PIC“ zur numerischen Plasmasimulation entwickelt, die auf Multicore-Rechnern hocheffizient betrieben werden kann. Erste Simulationsergebnisse zeigten u. a. interessante, bisher unbekannte Asymmetrien der Plasmadichte aufgrund der nicht rotationssymmetrischen Induktionsspule. Deren Auswirkungen auf den Wirkungsgrad des Triebwerks gilt es weiter zu untersuchen. Zukünftige Optimierungsschritte bei RIT verschiedener Leistungsklassen können durch die Simulation deutlich beschleunigt werden und somit dabei helfen, die Entwicklungskosten für kommerzielle Triebwerke zu verringern. In die Weiterentwicklung der Software investiert das DLR weitere 183.200 Euro.

Für die Entwicklung marktreifer RIT-Systeme ist eine Optimierung der Leistungs- und Steuerelektronik erforderlich, um auch in diesem Bereich Herstellungskosten und Satellitenmasse einzusparen. Zudem muss bei flugtauglichen Systemen die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) gewährleistet sein, damit die eigentlichen Funktionsbausteine des Satelliten – etwa Sensoren oder Sende-/Empfangseinheiten – nicht beeinträchtigt werden. In der Arbeitsgruppe Elektronik an der THM wurden auf diesem Arbeitsfeld erhebliche Fortschritte erzielt. Mittlerweile wurde ein elektronisches Netzwerkmodell programmiert, das die optimale Anpassung der Elektronikkomponenten an Triebwerke unterschiedlicher Größen und Geometrien erlaubt. Ein weiteres Modell zur Simulation des elektromagnetischen Nah- und Fernfeldes eines RIT-Systems wird aktuell anhand gemessener Feldverteilungen optimiert.

Bei künftigen Forschungssatelliten zur hochpräzisen Schwerefeldvermessung oder zur Detektion von Gravitationswellen kann ein Bedarf an Kleinstschub-Triebwerken entstehen, die nach dem herkömmlichen RIT-Prinzip nicht realisierbar sind. Daher wurden im Rahmen von RITSAT für diesen Zweck völlig neue Technologien miniaturisierter elektrischer Triebwerke entwickelt. Es handelt sich um Festkörper-Ionenemitter sowie Kolloidemitter, die jeweils mithilfe lithographischer Mikrostrukturierungsmethoden hergestellt werden. In diesen Triebwerken entsteht der Antriebsstrahl dadurch, dass aus einem Feststoff bzw. einer Flüssigkeit durch ein starkes elektrisches Feld geladene Teilchen ausgestoßen werden. Für beide Prinzipien wurde in ersten Betriebstests eine Extraktion eines Strahls nachgewiesen und somit der „Proof of Principle“ erbracht. Zur Fortsetzung dieser erfolgreichen Arbeiten stellt das DLR 37.000 Euro zur Verfügung.

Das Prinzip des RIT eignet sich nicht nur für Anwendungen in der Raumfahrt. Mit geringen Modifikationen ist sein Ionenstrahl für eine spezielle Art der Materialbeschichtung – das sogenannte Sputtern – nutzbar. Es kann z. B. in der Herstellung von Linsen und Bildschirmen zum Einsatz kommen. An dieser Anwendung wird in enger Kooperation mit mittelständischen Unternehmen weiter geforscht, so dass industriell einsetzbare Prozessabläufe in greifbare Nähe gerückt sind.

Erreichte Strukturentwicklung

Der Bereich Plasma- und Weltraumphysik an der JLU wurde während der Projektlaufzeit in Forschung und Lehre nachhaltig verstärkt.

Unbefristete Professuren mit den Schwerpunkten „Plasma- und Raumfahrtphysik“ und „Raumfahrzeuge“ wurden eingerichtet. Zusätzlich wurde eine auf insgesamt sechs Jahre befristete Juniorprofessur „Plasmadiagnostik“ geschaffen. Hinzu kommt die Schaffung einer Honorarprofessur für „Elektrische Raumfahrtantriebe“. Alle vier Professoren beteiligen sich an den Lehrveranstaltungen des Master-Studienganges mit dem Schwerpunkt „Atom-, Plasma- und Raumfahrtphysik“. Damit konnte in Gießen eine zumindest deutschlandweit einzigartige Ausbildungsmöglichkeit an der Schnittstelle zwischen Raumfahrt-Ingenieurwesen und Physik etabliert werden, die von den Studierenden gut angenommen wird. Mit den neuen Professuren werden Anwendungsbereiche erschlossen, die weit über das Ionenantrieb hinausgehen. Dazu gehören z. B. die komplexen Plasmen, die hochinteressante Modellsysteme für Prozesse in verschiedenen Kontinua darstellen, aber auch die Plasmamedizin, der eine große Zukunft in der Wundbehandlung prophezeit wird. Zu beiden Forschungen laufen Drittmittelprojekte bzw. Kooperationen mit anderen Einrichtungen.

Für die Verwertung der wissenschaftlich-technologischen Ergebnisse von RITSAT ergab sich während der Laufzeit eine neue Randbedingung. Im Jahr 2012 lancierte die Fa. Boeing eine Baureihe von kommerziellen Satelliten, die als Antrieb ausschließlich elektrische Triebwerke (electric propulsion, EP) verwenden und damit sehr kostengünstig sind. Die europäische Raumfahrtindustrie, die den Einsatz von EP früher hauptsächlich für anspruchsvolle Forschungssatelliten vorsah, ist seitdem hochinteressiert an der kommerziellen Vermarktung des Ionenantriebs. In einem Rahmenvertrag mit Airbus D&S als führendem europäischem Triebwerkshersteller wurde daher Anfang 2015 eine enge Zusammenarbeit in der Entwicklung und Qualifizierung von RIT und zugehörigen Elektronikkomponenten vereinbart. Parallel dazu soll mit regionalen Industriepartnern wie PVATePla AG und OptoTech GmbH die Ionenstrahl-Materialbear-

beitung zur großtechnischen Anwendungsreife entwickelt werden. Insgesamt haben sich alle Teilprojekte – nicht zuletzt auch in Kooperation mit der THM – als erfolgreich erwiesen und werden daher mit Dritt- oder Haushaltsmitteln fortgeführt.

Erreichte Bedeutung/Stellung im Themen-/Forschungsfeld

Die durch Einführung des Master-Schwerpunkts „Atom-, Plasma- und Raumfahrtphysik“ im Jahr 2011 an der JLU begonnene Profilbildung an der Schnittstelle zwischen Physik und Raumfahrttechnik wurde im Rahmen von RITSAT vervollständigt. Mit den neu geschaffenen Professuren können über das Ionen-

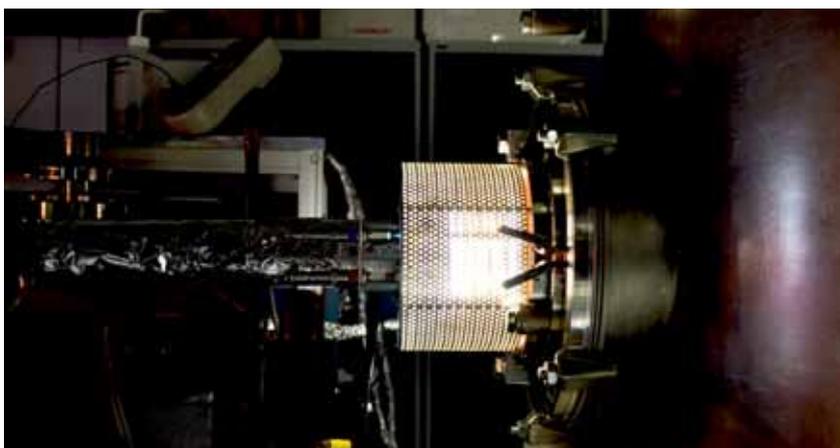
triebwerk hinaus weitere wichtige Anwendungen von Ionenstrahlen – z. B. in der Medizin und in der Materialbearbeitung – erschlossen werden. Mit den komplexen Plasmen wurde dem Forschungsportfolio der JLU zudem ein hochinteressantes Gebiet der Grundlagenforschung hinzugefügt. In dieser fachlichen Ausrichtung ist das mit RITSAT an der JLU und der THM gewachsene Kompetenzteam zumindest in Deutschland einzigartig. Die Stellung der Gießener Forscher als führende Partner der europäischen Raumfahrtindustrie bei der Entwicklung des RIT-Konzepts wurde ausgebaut und vertraglich gesichert.

Ebenso trug RITSAT zur Vernetzung der JLU mit der mittelhessischen Industrie auf dem Gebiet der Ionenquellen für die Materialbearbeitung bei.

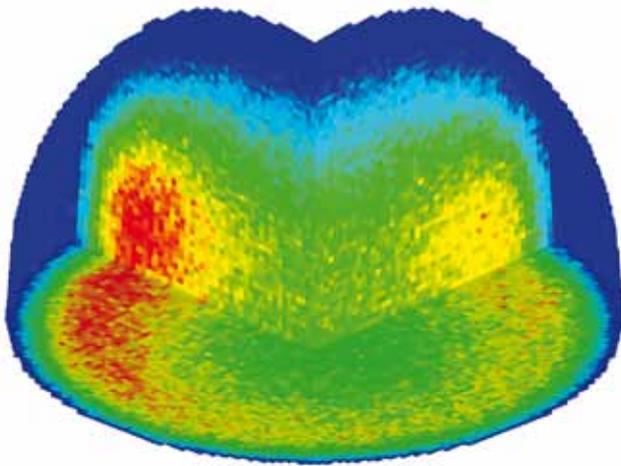
Wichtigste Meilensteine des Projekts



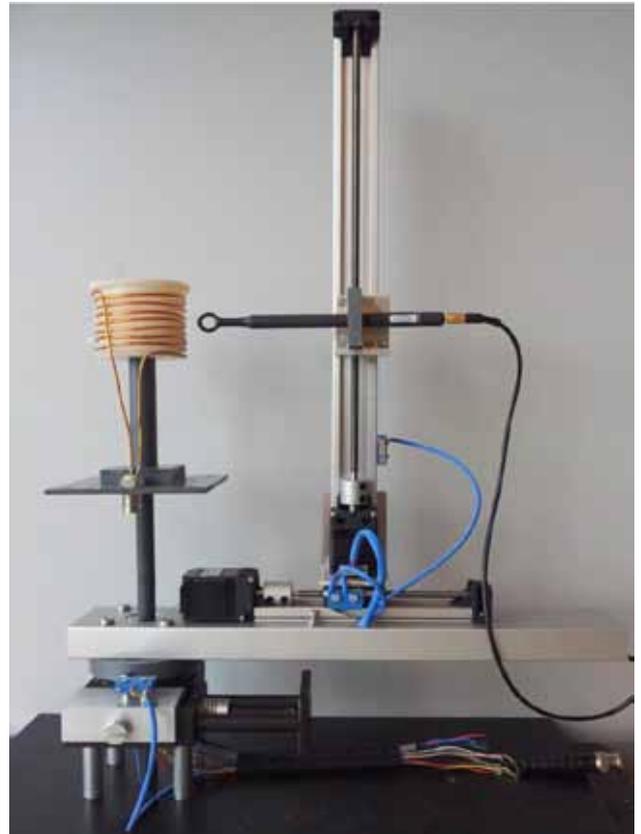
Bei der Heraeus-Physikschule „Physik im Weltraum“ wurde im Herbst 2013 der Zusammenbau eines RIT demonstriert.



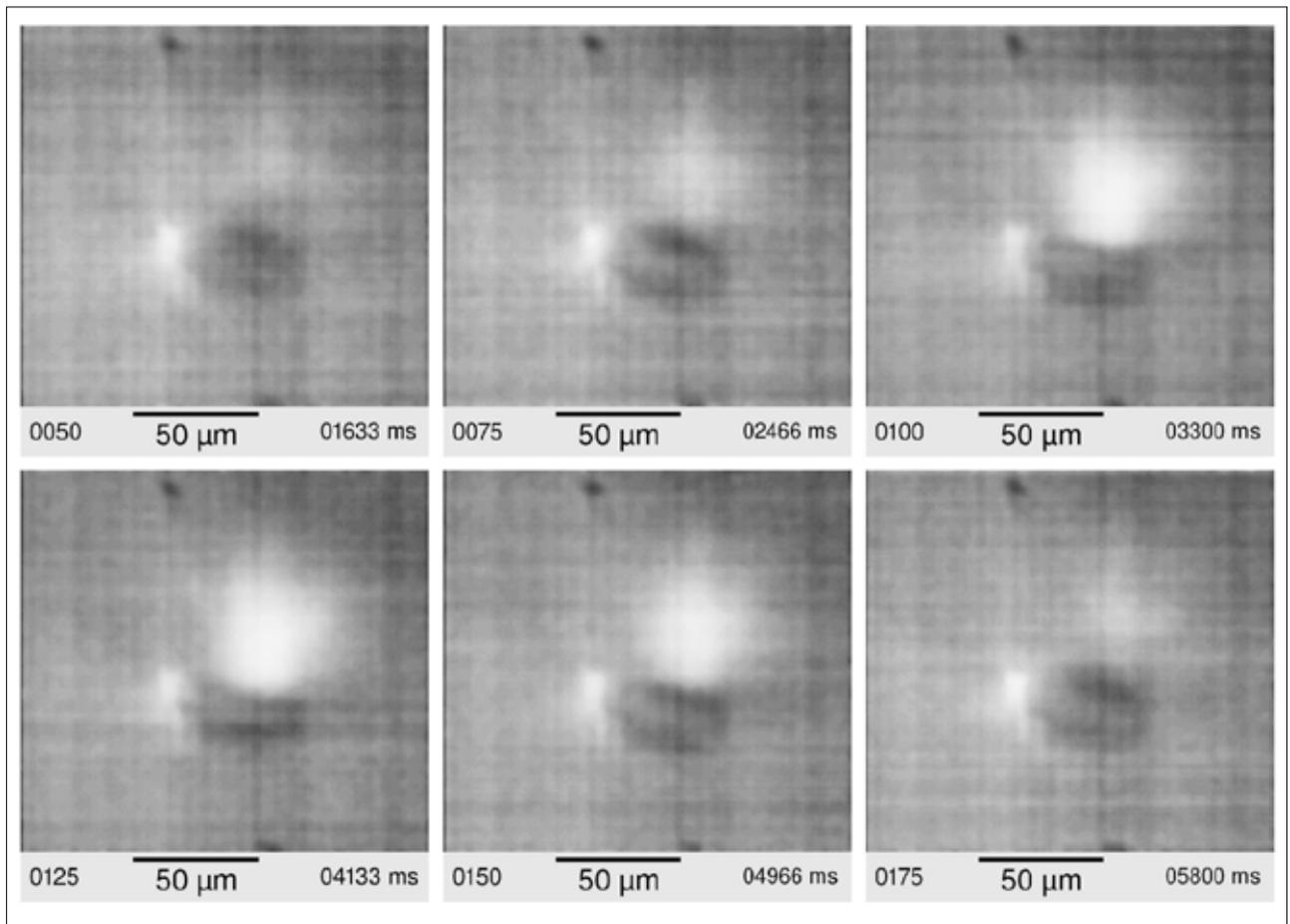
Ein RIT-10 lief im Sommer 2014 erstmals mit dem kostengünstigen Adamantan als alternativem Treibstoff.



Darstellung der Ionendichteverteilung in einem hypothetischen RIT-1, numerisch simuliert mit dem bei RITSAT entwickelten Programm „Plasma PIC“. Die Asymmetrie ist deutlich erkennbar.



Automatisierter Aufbau zur Messung der räumlichen Feldverteilung in der Umgebung eines RIT.



Standbilder aus einem im April 2014 aufgenommenen Film, der den Beginn, die Hochphase und das Abebben einer Extraktion von ionischer Flüssigkeit aus einem Kolloidemitter zeigt.

Weitere Informationsmöglichkeiten

- <http://www.uni-giessen.de/RITSAT>
Projektseite des LOEWE-Schwerpunkts RITSAT an der Justus-Liebig-Universität Gießen
- <http://www.thm.de/site/forschung/wissenschaftlicher-nachwuchs/strukturierte-doktorandenausbildung/raumfahrt-ionenantriebe.html>
RITSAT-Webseite an der Technischen Hochschule Mittelhessen
- <http://www.hr-online.de/website/archiv/hessenschau/hessenschau.jsp?t=20131022&type=v>
Am 22.10.2013 wurde die Ionentriebwerks-Forschung an der JLU in der Hessenschau (HR-Fernsehen) präsentiert. Der Bericht beginnt an der Zeitposition 18:20 und endet bei 23:46.

Zahlen und Fakten

Förderzeitraum	01.01.2012 – 31.12.2014	Bemerkungen
bis Ende des Förderzeitraums verausgabte LOEWE-Mittel	3.770.232,43 Euro	
bis Ende des Förderzeitraums verausgabte Drittmittel	321.557,01 Euro	
eingeworbene Drittmittel	1.876.490,37 Euro	bis ins Jahr 2017
Anzahl der beteiligten Personen	12 ProfessorInnen 25 wissenschaftliche MitarbeiterInnen 2 technisch-administrative MitarbeiterInnen	Stichtag 31.12.2014
Anzahl an innerhalb des Förderzeitraums abgeschlossenen Promotionen	3	
Anzahl an Veröffentlichungen in Fachzeitschriften innerhalb des Förderzeitraums	17	
Anzahl an Konferenzbeiträgen innerhalb des Förderzeitraums	15	
Anzahl an innerhalb des Förderzeitraums zugeteilten Patenten	1	

Kurzvorstellung der beteiligten Hochschulen und Forschungsinstitute

Justus-Liebig-Universität Gießen

<http://www.uni-giessen.de>

Die Universität Gießen ist eine moderne Hochschule mit über 400-jähriger Geschichte. Sie hat rund 28.000 Studierende und ist für die Zukunft bestens aufgestellt. Neben einem breiten Lehrangebot – von den klassischen Naturwissenschaften über Rechts- und Wirtschaftswissenschaften, Gesellschafts- und Erziehungswissenschaften bis hin zu Sprach- und Kulturwissenschaften – bietet sie ein lebenswissenschaftliches Fächerspektrum, das nicht nur in Hessen einmalig ist: Human- und Veterinärmedizin, Agrar-, Umwelt- und Ernährungswissenschaften sowie Lebensmittelchemie. Unter den großen Persönlichkeiten, die an der JLU geforscht und gelehrt haben, befindet sich eine Reihe von Nobelpreisträgern, unter anderem Wilhelm Conrad Röntgen (Nobelpreis für Physik 1901) und Wangari Maathai (Friedensnobelpreis 2004).

JUSTUS-LIEBIG-



UNIVERSITÄT
GIESSEN

Technische Hochschule Mittelhessen

<http://www.thm.de>

Die THM gehört mit über 15.000 Studierenden zu den größten Fachhochschulen Deutschlands. In Gießen, Friedberg und Wetzlar bietet sie ein breites Spektrum an Studienangeboten mit ingenieurwissenschaftlichem Schwerpunkt. Das Forschungsprofil der THM spiegeln ihre evaluierten Kompetenzzentren wider: Biotechnologie und Biomedizinische Physik, Energie- und Umweltsystemtechnik, Informationstechnologie, Nanotechnik und Photonik, Optische Technologien und Systeme, Verkehr – Mobilität – Automotive, Werkstoffwissenschaften und Materialprüfung. Das „Zentrum für den wissenschaftlichen Nachwuchs der THM“ unterstützt kooperative Promotionen mit Promotionsprogrammen, Qualifizierungen, Förderungen u. Ä.



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. – Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Standort Göttingen

<http://www.dlr.de/as/>

Das Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik ist ein führendes Forschungsinstitut auf den Gebieten Flugzeug-Aerodynamik, Flugzeug-Aeroakustik und Raumfahrt-Aerothermodynamik. Es ist an zwei Standorten – Braunschweig und Göttingen – beheimatet und unterhält in Köln eine Abteilung. Mehr als 260 Mitarbeiter, davon ca. 70 % Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, befassen sich mit theoretisch-numerischen und experimentellen Untersuchungen an Luft- und Raumfahrzeugen, wobei die Experimente sowohl in Windkanälen wie auch in Flugversuchen durchgeführt werden.



Das Institut koordiniert seine Arbeiten mit der deutsch/europäischen Luft- und Raumfahrtindustrie und einer Reihe von Universitätsinstituten.

Es versteht sich als Bindeglied zwischen Grundlagenforschung an den Universitäten und der industriellen Umsetzung. Daraus ergeben sich eine große Zahl gemeinsamer nationaler wie auch europäischer Forschungsaufgaben.

GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Darmstadt

<http://www.gsi.de>

Die GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH in Darmstadt betreibt eine der weltweit führenden Teilchenbeschleunigeranlagen für die Forschung. Etwa 1.350 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind bei GSI beschäftigt. Dazu kommen jährlich rund 1.000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Universitäten und anderen Forschungslaboren weltweit, um die Anlage für Experimente zu nutzen. GSI ist eine Gesellschaft mit beschränkter Haftung (GmbH). Gesellschafter sind der Bund zu 90 Prozent, das Bundesland Hessen zu acht Prozent sowie das Bundesland Rheinland-Pfalz und der Freistaat Thüringen zu je einem Prozent. Sie werden im Aufsichtsrat durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und die jeweiligen Landesministerien vertreten. GSI ist Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft, der größten deutschen Wissenschaftsorganisation.

Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik, Garching

<http://www.mpe.mpg.de>

Für ihre astrophysikalische Forschung vermessen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik die Strahlung entfernter Objekte in unterschiedlichen Spektralbereichen: von Millimeter/Sub-Millimeter-, und Infrarot-, bis hin zu Röntgen- und Gammawellenlängen. Hierfür werden Instrumente, Satelliten-Nutzlasten und z. T. sogar ganze Teleskope selbst entwickelt und gebaut. Der damit überdeckte Teil des elektromagnetischen Spektrums umfasst mehr als zwölf Größenordnungen. Astrophysikalische Fragestellungen reichen von der Physik der Sterne und der Physik und Chemie interstellarer Medien über Fragen der Sternentstehung und Nukleosynthese bis zu extragalaktischer Astrophysik und Kosmologie. Die direkte Wechselwirkung von Beobachtern und Experimentatoren im Hause verstärkt die Zusammenarbeit, bewirkt eine verbesserte Abstimmung der Aktivitäten und führt oftmals im direkten Wechselspiel von Hypothesen und neuen Beobachtungen zu einer frühzeitigen Identifikation vielversprechender neuer Forschungsrichtungen.



HESSEN



Das Forschungsförderungsprogramm LOEWE ist eine Förderinitiative des Hessischen Ministeriums für Wissenschaft und Kunst.

Impressum

Herausgeber:

Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst
Rheinstraße 23 – 25
65185 Wiesbaden

Inhalt:

LOEWE-Schwerpunkt RITSAT – Raumfahrt Ionenantriebe –
Plasmaphysikalische Grundlagen und zukünftige Technologien

Redaktion:

LOEWE-Geschäftsstelle im
Hessischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst

Layout:

Christiane Freitag, Idstein

Fotos:

LOEWE-Schwerpunkt RITSAT – Raumfahrt Ionenantriebe –
Plasmaphysikalische Grundlagen und zukünftige Technologien
Titel und S. 3: Hans-Peter Jorde, JLU Gießen; S. 2: Dr. Martin Güngerich,
JLU Gießen; S. 6 Abb. 1: Dr. Torsten Henning, JLU Gießen;
S. 6 Abb. 2: AG Ionenantriebe, JLU Gießen; S. 7 Abb. 2: Timo Baruth, THM