



## Satelliten- Mikroantriebe mit gepulsten Lasern

Viele wissenschaftliche Missionen erfordern die Positionierung und Lagestabilisierung von Satelliten auf bis zu einen Tausendstel Millimeter genau. Damit kann beispielsweise die Auflösung eines Teleskops im Verbund mit weiteren Teleskopen in Satelliten-Formationen verbessert werden. Auch zum direkten Nachweis von Gravitationswellen ist ein satellitengestütztes Interferometer mit derartiger Lageregelung geplant. Ebenso bei weiteren Missionen zur Vermessung des Erdschwerefeldes ist eine genaue Lagekontrolle von Satelliten notwendig.

Die hochgenaue Stabilisierung von Satellitenpositionen erfordert die Kompensation äußerer Einflüsse, wie den solaren Strahlungsdruck oder die bei erdnahen Missionen verbleibende atmosphärische Reibung. Hierzu sind äußerst geringe Schubkräfte im Bereich von einigen Mikronewton notwendig. Dies entspricht ungefähr der Gewichtskraft eines einzelnen menschlichen Haares. Laser-Mikroantriebe sollen die Lageregelung mit diesen hohen Ansprüchen während der gesamten Missionsdauer zuverlässig erfüllen. Am Institut für Technische Physik werden hierzu Untersuchungen zur Entwicklung und Qualifizierung geeigneter Antriebskonzepte sowie zur Laser-Materie-Wechselwirkung durchgeführt.

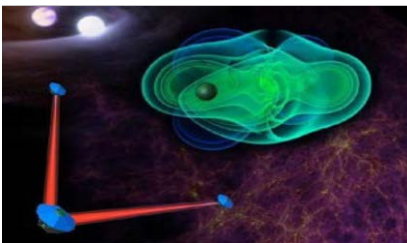
Kurze Laserpulse sehr hoher Spitzenintensität werden dabei auf ein sogenanntes Target fokussiert. Dadurch wird eine sehr dünne Schicht der Oberfläche in Form von Dampf oder Plasma abgetragen (laserinduzierte Ablation). Der Rückstoß dieser ablatierten Materialwolke (Treibstoffstrahl) führt zu einem kontrollierten Impulsübertrag auf den Satelliten. Je nach Target-Material lässt sich der Impulsübertrag über Intensität, Dauer und Wellenlänge des Laserpulses anpassen. Je kleiner dieser Impulsübertrag ist, umso genauer kann die

## Satellite microthrusters with pulsed lasers

Many scientific missions require satellite positioning and attitude control down to a thousandth of a millimeter. For example, satellite-based telescope's resolution can be vastly improved by combining several telescopes into a satellite array. Moreover, for the direct detection of gravitational waves, a satellite-based interferometer with positioning control systems is projected. Furthermore, precise position control of satellites is a prerequisite for accurate measurements of the Earth's gravitational field.

The highly accurate satellite position control, demands the compensation for external influences, such as solar radiation pressure or the remaining atmospheric drag at low earth orbit missions. For that extremely low thrust forces in the range of a few micronewtons are necessary. This corresponds roughly to the weight of a single human hair. Laser micro thrusters are designed to meet the enhanced specifications for attitude and orbit control throughout the whole space mission. Research at the Institute of Technical Physics is devoted to the development and qualification of suitable thruster concepts as well as laser-matter-interaction processes.

Short laser pulses with high peak intensities are focused on a target surface, leading to ablation of a thin film of material and creating vapor or plasma (laser induced ablation). The recoil of the ablated material plume yields a systematic momentum transfer to the satellite, which can be controlled depending on the target material by varying intensity, pulse duration and wavelength of the laser. The smaller the momentum transfer (impulse bit), the higher the accuracy of the satellite position and attitude control.

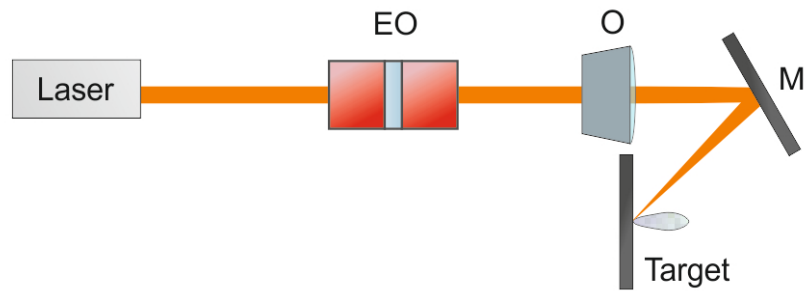


Geplanter direkter Nachweis von Gravitationswellen mit einem Interferometer (eLISA), das durch eine Satelliten-Formation gebildet wird (Bild: eLISA Consortium)

Projected direct detection of gravitational waves with an interferometer (eLISA), formed by a satellite array (picture: eLISA Consortium)

Schematische Darstellung eines laserablativen Mikroantriebs mit elektrooptischer Strahlsteuerung (EO), Fokussierungseinheit (O), Umlenkspiegel (M) und Treibstoff-Target

*Schematic illustration of laser-ablative micro-thruster with electro-optical beam steering (EO), focusing unit (O), deflecting mirror (M) and propellant target*

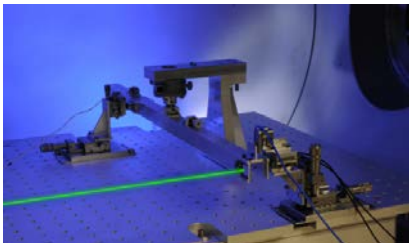


Position eines Satelliten geregelt werden. Die Zahl der Laserpulse bestimmt dann den auf den Satelliten übertragenen Gesamtimpuls, um den Satelliten gezielt auszurichten.

*The average thrust level is determined by the number of applied laser pulses, hence providing a precise alignment of the satellite.*

Um auf bewegliche Teile in der Fokussierungsoptik, welche auch die Lage-regelung des Satelliten beeinflussen würden, verzichten zu können, erfolgt die Strahlsteuerung nur durch elektro-optische Komponenten über die Oberfläche des Targets hinweg.

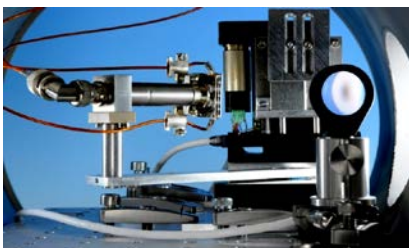
*In order to avoid any moving parts in the beam director, which would disturb the attitude control of the satellite, the laser beam is scanned and focused onto the propellant surface by electro-optical components only.*



Photonendruck-kalibrierte Torsionswaage zur Messung laserablativer Schuberzeugung  
*Photon pressure calibrated torsion balance for the measurement of laser-induced thrust*

Zur hochpräzisen Messung der Schubkräfte laserablativer Mikroantriebe wurde am Institut für Technische Physik eine spezielle Torsionswaage entwickelt, welche selbst Kräfte von weniger als einem Mikroneutron zuverlässig messen kann. Hierbei kommt ein neuartiges Kalibrationsverfahren zum Einsatz, bei dem der Lichtdruck (Photonenimpuls) eines Hochleistungslaserstrahls als Referenz dient. Die Untersuchung der vom Target laserablatierten Materialwolke dient zur Anpassung der Laserparameter für einen optimalen Arbeitspunkt der Mikroantriebe, auch um möglichen Verschmutzungen an Triebwerk und Satellit durch einen zu stark aufgeweiteten Treibstoffstrahl entgegenzuwirken.

*For highly precise thrust measurements, a special torsion balance was developed at the Institute of Technical Physics, being capable of reliably measuring forces even below one micronewton. The corresponding calibration procedure exhibits a special feature, since the photon pressure of a high power laser beam serves as a reference. The investigation of the laser-ablated material plume allows for the optimisation of the working point of the micro thrusters, mitigating the contamination of the thruster and the satellite by an unnecessarily divergent propulsion jet.*



Prüfstand zur Messung von Geschwindigkeit und Öffnungswinkel des vom Target durch Laserablation abgetragenen Treibstoffstrahls  
*Test bench for the measurement of jet velocity and angular divergence of the ablated plasma plume*

Optische Analysen der laserbestrahlten Targetfläche geben Auskunft über die Form des Materialabtrags (Kraterbildung). Sie ermöglichen die Optimierung der Strahlsteuerung, mit welcher der Laser die Target-Oberfläche abträgt. Ziel ist dabei eine minimale Oberflächenrauheit beizubehalten, um einen gleichbleibenden Schub von Laserpuls zu Laserpuls zu gewährleisten.

*Optical analyses of the irradiated target surface reveal the traces of the material ablation (cratering). They allow for the optimisation of the scanning pattern that is used for the laser ablation of the surface. The goal is to maintain a minimal surface roughness to ensure a constant thrust level laser pulse by laser pulse.*

*Current research on laser ablative micro-thrusters promises a significantly more precise attitude control of satellites than conventional thruster concepts. Laser ablative propulsion will be able to prove its superiority in future space missions.*

Nach aktuellen Forschungsergebnissen versprechen laserablativ Mikroantriebe eine deutlich präzisere Lageregelung von Satelliten als konventionelle Antriebskonzepte und werden ihre Überlegenheit bei zukünftigen Raumfahrtmissionen unter Beweis stellen.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Institut für Technische Physik  
Pfaffenwaldring 38-40  
D-70569 Stuttgart

Kontakt: Dr. Hans-Albert Eckel  
Telefon: +49 711 6862-714  
Fax: +49 711 6862-788  
E-Mail: Hans-Albert.Eckel@dlr.de  
DLR.de/tp