



Laserantriebe für die Raumfahrt

Laser Propulsion for Space Applications

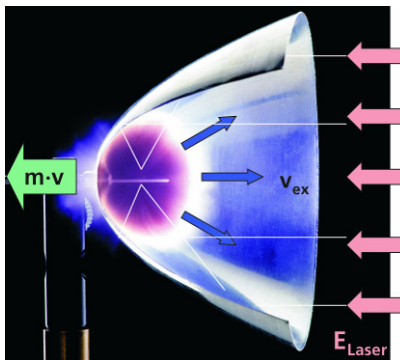
Schematische Ansicht des Starts eines Kleinsatelliten durch einen erdgestützten Hochenergielaser

Schematic view on the launch of a small satellite by a ground-based high energy laser



Ein Blick in die Brennkammer verdeutlicht das Antriebsprinzip des Impulsübertrages durch eine laserinduzierte Detonation

A view into the thrust chamber illustrates the propulsion principle of momentum transfer by laser-induced detonation



Die Entwicklung gepulster Hochenergielaser hat ein facettenreiches Spektrum neuer Anwendungsmöglichkeiten für die Raumfahrt eröffnet. Die Fokussierbarkeit von Laserstrahlung über weite Distanzen ermöglicht den Antrieb eines Objekts von einer ortsfesten Basis aus. Dabei werden geringe Mengen eines Treibstoffes durch Laserstrahlung abgetragen und in einer Plasmadetonation gezündet. Innerhalb der Erdatmosphäre ist es sogar möglich, allein durch die Plasmazündung in der Luft den notwendigen Schub zu erzeugen. So kann durch das direkte Zustrahlen von Energie auf den Transport des Energieträgers weitgehend verzichtet und damit ein günstigeres Masse/Nutzlast-Verhältnis erreicht werden. Dadurch können in naher Zukunft örtlich flexible Missionen mit kleinen Nutzlasten zeitnah realisiert werden. Das Potenzial des Laserantriebs reicht von logistischen Aufgaben im Weltraum (Probenahme, Material, Medikamente) bis hin zum Transport von Kleinstsatelliten mit einigen Kilogramm Startmasse in erdnahe Umlaufbahnen.

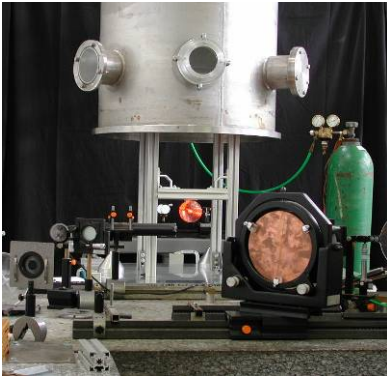
Das Prinzip des Laserantriebs basiert auf einer laserinduzierten Detonation. Eine Brennkammer in Form eines Parabolspiegels konzentriert die zugestrahlte Laserenergie im Fokus. Dort zündet aus dem Treibstoff, z.B. Luft, ein hochdichtes Plasma, das schnell expandiert. Es entsteht eine sphärische Schockwelle mit hohem Druck und hoher Temperatur, die das Gas (Treibstoff) in Bewegung setzt. Beim Auftreffen der Welle auf die Brennkammerwand schiebt das komprimierte Gas das „Lightcraft“ an, bis der Gasdruck auf Umgebungsdruck abgefallen ist. Zusätzlichen Schub erzeugt der aus der Brennkammer ausströmende treibstoff (Impulserhaltung).

The development of pulsed high energy lasers has opened up a wide spectrum of possible space applications. The feasibility of focussing laser radiation at large distances allows the remote propulsion of a device from a stationary basis. Only small amounts of a propellant are ablated by laser radiation and ignited in a plasma detonation. Within the atmosphere, it is even possible to create the required thrust by a plasma ignition using the ambient air. Hence, the transport of an energy source can widely be replaced by direct energy beaming. This leads to a more beneficial mass-payload ratio. Thus, in the near future, missions with small payloads are expected to be realized spatially flexible and on a short timescale. The potential of laser propulsion ranges from logistic tasks in space (sampling, material, pharmaceuticals) to the transport of nano-satellites with a couple of kilograms mass into a low earth orbit.

The principle of the pulsed laser propulsion is based on a laser induced detonation. A parabolic mirror serves as thrust chamber and concentrates the received laser pulse energy into the propellant. In the focal region the propellant breaks down into a high-density, high temperature plasma, expands and produces thrust setting the gas (propellant) in motion. When the wave impinges to the wall of the thrust chamber, the compressed gas pushes the "lightcraft" until the pressure declines to ambient air pressure. For reasons of conservation of momentum, additional thrust is generated from the propellant streaming out of the thrust chamber.

Prüfstand mit Pendel und Höhenkammer zur Analyse des Impulsübertrages

Testbed with pendulum and pressure chamber for the analysis of momentum transfer



Elektronenstrahlgestützter, gepulster Multispektral-Laser der 10 kW-Klasse

E-beam sustained, pulsed, multispectral laser (10 kW – class)



Die Arbeiten zum Laserantrieb umfassen grundlegende Experimente an einem Pendel-Prüfstand zur Bestimmung des Impulskoppelkoeffizienten bei Atmosphärendruck und zur Simulation großer Flughöhen auch bei reduziertem Druck, bis hin zum Vakuum. Zusätzlicher Treibstoff kann die Leistungsfähigkeit während eines Fluges durch die Atmosphäre erhöhen. Er ist unverzichtbar für Flüge in großen Höhen und im Vakuum des Weltraums. Die Validierung des Antriebskonzepts wird durch Flugversuche realisiert, die neben Demonstrationszwecken der technologischen Weiterentwicklung dienen. Darunter fallen Konzepte zur Flug- und Lageregelung für die Stabilisierung des Lightcrafts auf dem Laserstrahl, sowie zur Neigung gegen den Laserstrahl, z. B. beim Einschwenken in eine Umlaufbahn.

Zukünftige Arbeiten werden sich auf Experimente mit festen Treibstoffen zur Steigerung des spezifischen Impulses sowie Studien zur Analyse optimaler Flugbahnparameter konzentrieren. Ausreichende Strahlqualität zur Übertragung der Energie über hohe Distanzen ist unabdingbar und unmittelbar verknüpft mit dem Design des Strahlführungssystems. Ein adaptives Teleskop mit einem aktiven Trackingsystem und Turbulenzkompensation gewährleistet die zuverlässige Übertragung der Laserenergie bis zu einer Distanz von 1000 km. Für den Transport eines Satelliten in eine erdnahe Umlaufbahn bedarf es einer gepulsten Laserquelle mit einer mittleren Leistung von 1 MW pro Kilogramm Startmasse. Im Gegensatz dazu sind für Aufgaben in der Schwerelosigkeit deutlich geringere Laserleistungen erforderlich. In einem Demonstrationsexperiment soll bei Pulsenergien unter 1 J die Funktion des Laserantriebes mit einem kompakten Laser im Hinblick auf den Einsatz von einer Weltraumstation aus untersucht werden.

The activities in the field of laser propulsion comprise fundamental experiments at a pendulum testbed to determine the momentum coupling coefficient at ambient air pressure as well as – for the simulation of higher flight altitudes – at reduced pressure down to vacuum. Additional propellant can enhance the performance during a flight through the atmosphere and it is indispensable for flights at high altitudes and in the vacuum of space. In addition, to demonstration purposes free flight experiments allow for the validation of the propulsion concept, and promote further technological developments. In particular, concepts for flight and attitude control are investigated to stabilize the lightcraft on the laser beam and to control the tilt against the laser beam, e.g. for orbit insertion.

Future work will focus on experiments with solid propellants to achieve an enhancement of the specific impulse. Furthermore, studies on the optimization of flight parameters will be conducted. For energy beaming over long distances, a sufficient beam quality is indispensable and directly linked with the layout of a beam directing system. An adaptive optics telescope with an active tracking system and atmospheric turbulence compensation is a prerequisite for a reliable transmission of laser energy up to a distance of 1000 km. For the transport of a satellite in a low earth orbit a pulsed laser source with an average power of 1 MW per kilogram wet mass is required. By contrast, for operations under micro-gravity conditions considerably lower laser power is needed. In a demonstration experiment with pulse energies below 1 J the functionality of laser propulsion with a compact laser is planned to be investigated with respect to a future spaceborne mission or an application on a space station.



DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Institut für Technische Physik
Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart
Telefon: +49 (0)711 6862 -773
Telefax: +49 (0)711 6862 -788

www.DLR.de/tp