

Institut für Technische Physik

Stuttgart



	Festkörperlaser und Nichtlineare Optik TP-FN	Aktive Optische Systeme TP-AO	Hochenergielaser / COIL TP-HL	Studien und Konzepte TP-SK
Stand-off Detektion	Pulslaser NLO	(Empfänger-) Optik	Tests, Spektroskopie, Datenanalyse	Systemstudien, Risikoanalysen
Lasereffektoren großer Reichweite	Wirklaser	Strahlführung und -formung	Propagation und Wirkung	Szenarien, Systemstudien
Laserantriebe	(Puls-) Laser	Sendeoptik, Strahlführung und -formung	Propagation	Missionsstudien, Systemkonzepte
Opt. Aufklärung (Weltraumlage)	Pulslaser	Teleskope, Strahlführung und -formung	Atmosphärendaten, Tests	Bedrohungsanalyse, Systemstudien

Institutsstruktur: „Leuchtturmthemen“ (Zeilen) und Abteilungen (Spalten).

Das **Institut für Technische Physik** bearbeitet ausgesuchte Gebiete der Optik und Photonik. Die Arbeiten orientieren sich primär an Fragestellungen aus Luft- und Raumfahrt sowie Beiträgen zur Sicherheits- und Verteidigungsforschung.

Das Institut gliedert sich in vier Abteilungen – „Festkörperlaser und Nichtlineare Optik“, „Aktive Optische Systeme“, „Hochenergielaser / COIL (Propagation und Wirkung)“ und „Studien & Konzepte“. Die Schwerpunktthemen der einzelnen Abteilungen sind im zweiten Teil dieser Broschüre dargestellt.

Basierend auf der ausgewiesenen Kompetenz in den Forschungsfeldern Laserentwicklung und optische Technologien und der langjährigen Erfahrung mit Vorhaben und Projekten im Bereich der wehrtechnischen Forschung, werden neue Forschungsschwerpunkte im Hinblick auf die drängenden Fragen der zivilen (Sicherheits-) Forschung adressiert. Die neuen „Leuchtturmthemen“ des Instituts sind dabei so angelegt, dass sie

jeweils sowohl Fragestellungen aus den zivilen und wehrtechnischen Forschungsbereichen umfassen und damit a priori ein hohes Dual-use Potenzial aufweisen. Die Bündelung der unterschiedlichen Kompetenzen der einzelnen Abteilungen bei der Abarbeitung der einzelnen Themen erlaubt zudem ein hohes Maß an Synergie. Die neuen Schwerpunktthemen des Instituts sind:

- Stand-off Detektion, die Erkennung und Identifikation von Schad- und Gefahrstoffen (chemisch, biologisch, explosiv)
- Lasereffektoren, für den Energieübertrag durch Laserstrahlung
- Laserantriebe, präzise Triebwerke für die Raumfahrt und
- Optische Aufklärung, die präzise Aufklärung und Bewertung der Bedrohungen von Satelliten durch Weltraummüll und.

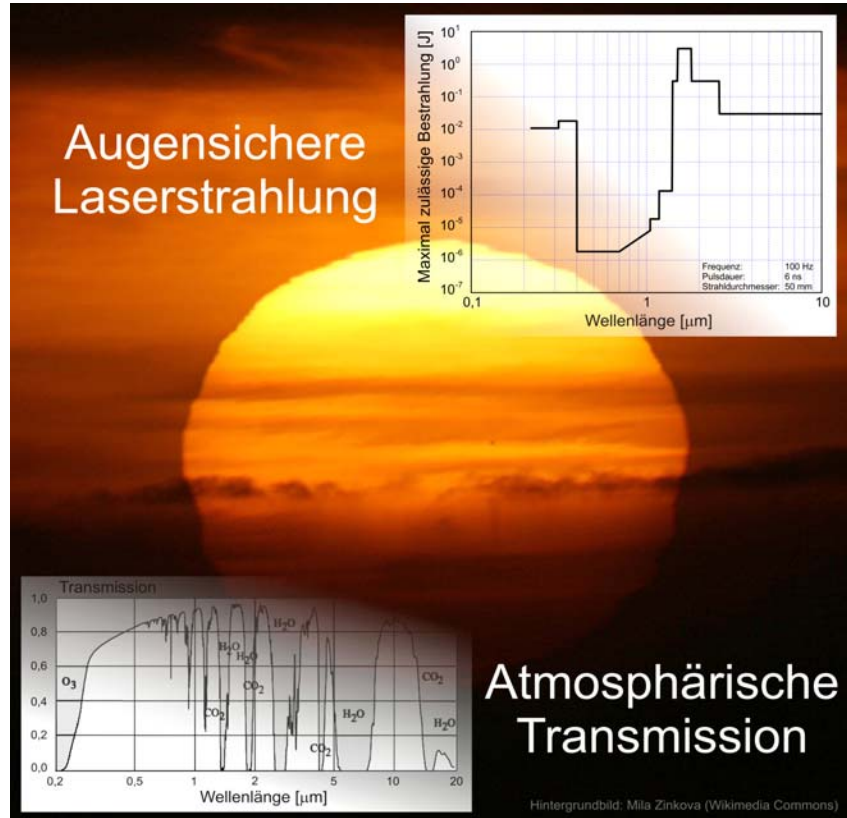
Stand-off Detektion

Sowohl die vorsätzliche wie auch die unbeabsichtigte Freisetzung von chemischen, biologischen, radioaktiven, nukle-

aren oder explosiven (CBRNE) Gefahrstoffen stellt eine Bedrohung für die Personensicherheit dar. Neben der Bedrohung der zivilen Sicherheit ist in Krisengebieten, wie derzeit in Afghanistan, die Sicherheit der entsendeten Soldaten durch Anschläge gefährdet. Dem dringenden Bedarf an zuverlässigen Nachweisverfahren wird Rechnung getragen durch zahlreiche national (BMBF) und international (EU-FP7, EDA) geförderte Forschungsprogramme. Die lasergestützte Stand-off Detektion bietet vielversprechende Möglichkeiten, Gefahrstoffe frühzeitig zu detektieren und zu identifizieren. Durch ein abstands-basiertes, diskretes und zuverlässiges Detektionsverfahren lassen sich im Krisenfall rechtzeitig Gegenmaßnahmen einleiten und Gefahren für die Bevölkerung und die Rettungskräfte verringern.

Die Detektion von Gefahrstoffen wird durch deren Vielfalt erschwert. Die unterschiedlichen Verbreitungs-, Kontaminations- und Inkubationswege erhöhen zusätzlich die Komplexität der Problemstellung. Chemische Gefahrstoffe, wie z.B. das Nervengift Sarin, werden zumeist gasförmig über die Luft verteilt. Bakterien und Viren können an Gegenständen haften oder sich als Aerosole über die Luft ausbreiten. Dort überleben sie mehrere Tage und Wochen. Explosivstoffe hinterlassen Spuren auf Oberflächen, z.B. in Form von Fingerabdrücken oder als Partikel an Textilien.

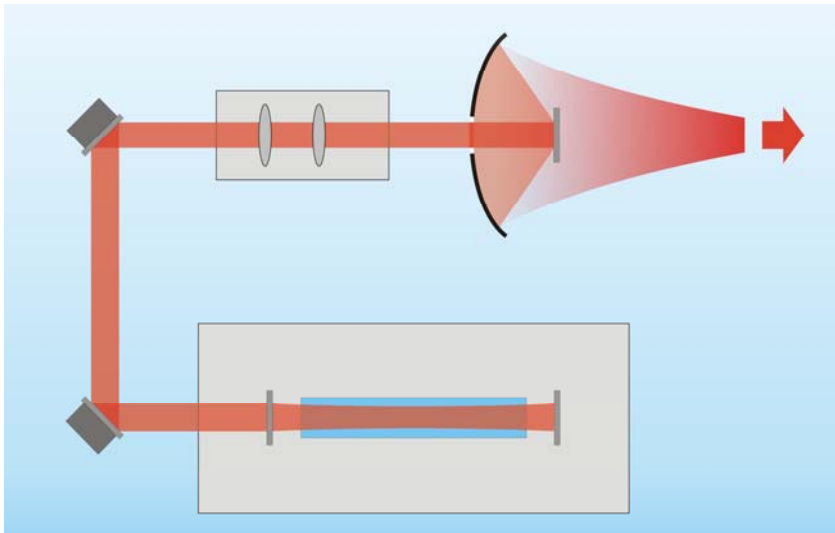
Viele der heute schon verfügbaren Detektionsmethoden benötigen zumeist direkten Kontakt mit dem Gefahrstoff. Diese Einschränkung erschwert eine frühzeitige Erkennung und ist für die Helfer nicht ohne Gefahren durchführbar. Andere Methoden beschränken sich auf Entfernungen im Meterbereich (Portalsysteme) oder sind stark von der Hintergrundstrahlung abhängig. Lasergestützte Detektionsmethoden nutzen unterschiedliche Wechselwirkungsmechanismen zwischen elektromagnetischer Strahlung und Materie. Dabei kann eine große Anzahl von Gefahrstoffen in unterschiedlichen Zu-



standsformen über Entfernungen bis in den Kilometerbereich erfasst werden.

Augensicherer Wellenlängenbereich und atmosphärische Transmission.

Die Anforderungen an die Stand-off Detektion unter realen Einsatzbedingungen sind geprägt durch das konkrete Bedrohungsszenario und die aktuellen Umweltbedingungen. Entsprechend der Gefahrenlage kommen die Systeme vorwiegend in belebten Situationen zum Einsatz, in denen eine schnelle, diskrete und vor allem sichere Gefahrstofferkennung zwingend ist. Eine Gefährdung von Personen durch das Verfahren selber ist dabei auszuschließen. Die Funktionalität ist innerhalb wie außerhalb von Gebäuden zu gewährleisten. Um diesen Anforderungen zu genügen, ist die Laserstrahlung im augensicheren Wellenlängenbereich zu wählen, wobei die optische Transmission der Atmosphäre zu berücksichtigen ist. Weitere Auswirkungen der



Komponenten eines Lasereffektors, unten: Strahlungsquelle (Wirklaser), oben: Strahlformung und -führung.

Atmosphäre sind ein veränderlicher Strahlungshintergrund, die Sichtweiteinschränkung durch ungünstige Witterungsbedingungen, Smog oder Staubwolken, sowie die Präsenz natürlicher, schadstoffähnlicher Spurenstoffe. Die Entwicklung kompakter, mobiler Komplettlösungen ist das angestrebte Ziel für einen schnellen und effektiven Einsatz im Krisenbereich.

Am Institut für Technische Physik wird die Stand-off Detektion von Gefahrstoffen ganzheitlich untersucht. Dazu gehören die Entwicklung geeigneter Laser ebenso wie die Datenanalyse und die optische Diagnostik. Ziel ist es, durch die Evaluierung der unterschiedlichen Methoden unter unterschiedlichen Einsatzbedingungen ein möglichst einfaches und vielseitiges Verfahren zu etablieren.

Lasereffektoren großer Reichweite

Fokussierte Laserstrahlung ist über kürzere Distanzen ein etabliertes Werkzeug für viele Anwendungen wie zum Beispiel in der Lasermaterialbearbeitung und in der Medizin. Mit Laserquellen hoher Leistung und hoher Strahlqualität ist auch die Übertragung und Fokussierung von Strahlungsenergie über große Entfernungen möglich. Die Ausrichtung des Laserstrahls kann dabei einfach und sehr

schnell durch das Verkippen und Verdrehen eines Spiegels gesteuert werden. Damit eignen sich solche Lasereffektoren großer Reichweite besonders für die Beaufschlagung schnell bewegter Objekte mit Laserstrahlung.

Diese Eigenschaften erschließen eine Vielzahl von Anwendungen. Ein Beispiel ist die Leistungsübertragung mittels Strahlung zur Energieversorgung – etwa für solarzellenbetriebene unbemannte Luftfahrzeuge (UAVs), die dann auch nachts eingesetzt werden könnten. Auch Satelliten könnten so mit Energie versorgt werden, um die Degradation der Solarzellen zu kompensieren und dadurch die Einsatzdauer wesentlich zu erhöhen.

Eine wichtige sicherheitstechnische Anwendung für Lasereffektoren großer Reichweite ist der Schutz von Einrichtungen gegen Beschuss mit Mörsergranaten und Raketen oder auch der Schutz von Flugzeugen in der Start- oder Landephase gegen Boden-Luft-Raketen.

Die Strahlformung und -führung ist eine wesentliche Komponente eines solchen Systems. Sie muss sowohl eine optimale Fokussierung des Strahls auf das Ziel als auch die Nachführung des Strahls auf das Ziel gewährleisten – und zwar auch dann, wenn die Ausbreitung durch die Atmosphäre zu deutlichen Störungen in der Strahlform und im Strahlprofil führt.

Hierzu werden am Institut für Technische Physik Methoden für die Zielverfolgung und für die Kompensation der atmosphärischen Störungen entwickelt. Diese Methoden werden auf einer Freistrecke getestet.

An die Strahlquelle für Lasereffektoren großer Reichweite ergeben sich spezifische Anforderungen:

- Die Emissionswellenlänge muss außerhalb der atmosphärischen Absorptionen liegen.
- Die Strahlqualität muss zur optimalen Fokussierbarkeit sehr hoch sein.

- Das Effektorsystem soll kompakt und effizient sein.

Diodengepumpte Festkörperlaser - insbesondere Slab-Laser, Faserlaser und Scheibenlaser - gelten nach heutigem Stand der Technik als die hierfür am besten geeigneten Strahlquellen. Faserlaser bieten derzeit die höchsten Ausgangsleistungen mit exzellenter Strahlqualität, jedoch ist die maximale Ausgangsleistung einer einzelnen Faser limitiert.

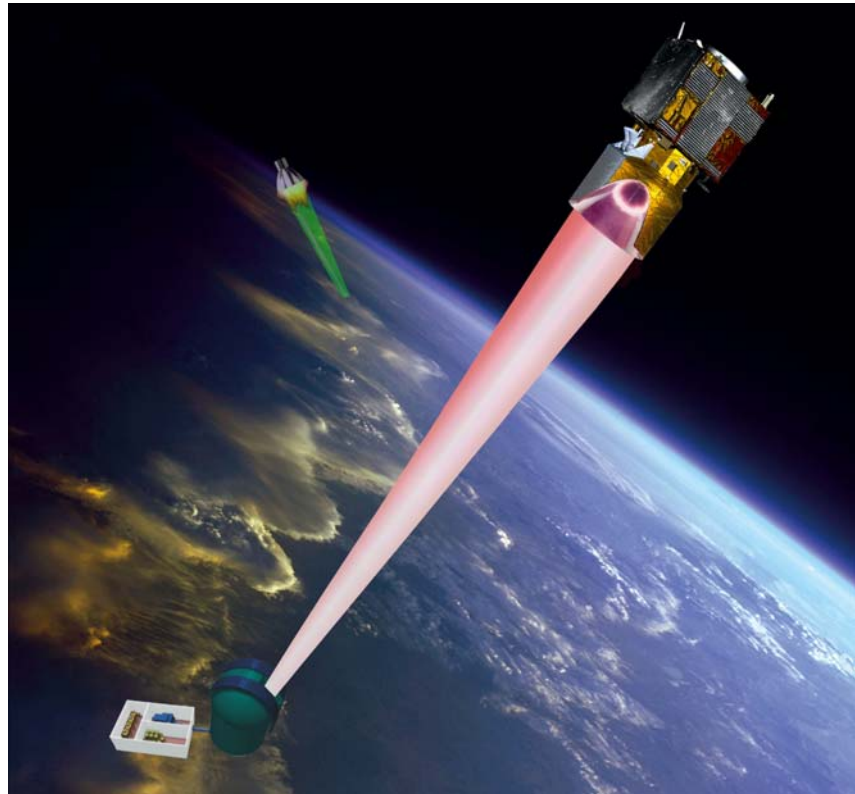
Aktuelle Forschungen am Institut für Technische Physik konzentrieren sich bei den Strahlquellen auf die Entwicklung kompakter Hochleistungsscheibenlaser und auf Konzepte zur Kopplung vieler Laserquellen.

Laserantriebe

Das Prinzip des Laserantriebs wurde in der Vergangenheit weltweit in zahlreichen terrestrischen Experimenten demonstriert. Ziel der Arbeiten zum thermischen Laserantrieb waren zunächst alternative Antriebskonzepte für den Start von Kleinstsatelliten (Nanosats) von der Erdoberfläche in den Low Earth Orbit (LEO). Die dazu benötigte gepulste Laserleistung steht jedoch kurz- und mittelfristig nicht zur Verfügung.

Basierend auf Fortschritten im Bereich der Festkörpertechnologie, die die Entwicklung leistungsstarker, kompakter Puls laserquellen auch für den Einsatz in der Schwerelosigkeit des Weltraums erlauben, bietet der Laserantrieb neue Möglichkeiten zur Lageregelung und Positionsstabilisierung von Satelliten oder Satellitenschwärmen im Orbit. Strahlführung und -formung mit aktiven optischen Systemen erlaubt die Nutzung des Laserantriebs auch über weite Distanzen. In einem weiteren Schritt sind somit Missionen mit kleinen Sonden, etwa zur „Probenentnahme“ auf Asteroiden oder (Klein) Planeten und die Rückkehr auf einem „Traktorstrahl“ denkbar.

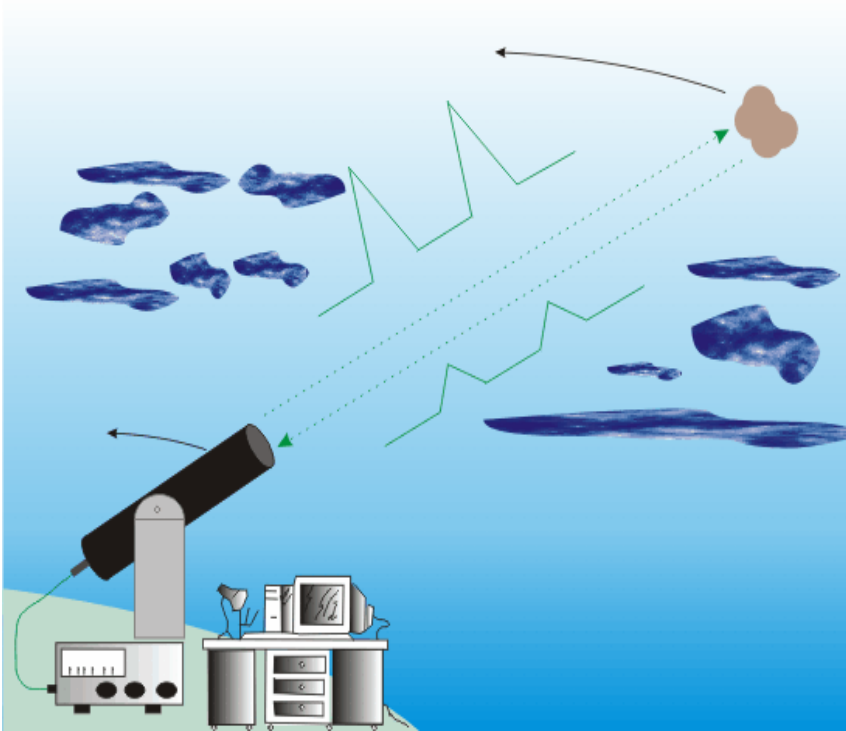
Neuestes Forschungsziel ist die Entwicklung und Qualifizierung von hochpräzisen Antrieben mit Schubkräften im Bereich von 0.1 μN bis zu 1 mN. Alternative



Schematische Ansicht des Starts eines Kleinstsatelliten durch einen erdgestützten Hochenergielaser.

Mikro-Antriebskonzepte, die bei vielen Missionen mit präziser Lage- und Orbitkontrolle erforderlich sind, werden dringend benötigt. Ein wachsender Bedarf entsteht nicht nur bei geodätischen Missionen zur Vermessung des Erdschwerefeldes (Nachfolgemissionen zu CHAMP, GRACE oder GOCE), bei astronomischen Missionen zur Röntgenastronomie, bei denen man die Teleskope aus zwei Satelliten mit hochpräziser Abstandskontrolle über bis zu 50 m aufbauen muss, sondern auch bei astronomischen Projekten, die größere Formationen (wie z.B. Darwin) erfordern.

Der Laserantrieb ist auf Grund seiner hohen Präzision und seiner einfachen (Treibstoff-) Infrastruktur in idealer Weise für Mikroantriebe geeignet. Durch laserinduzierte Ablation von Metallen oder Kompositen mit gepulsten Laserquellen können präzise regelbare Schubkräfte erzeugt werden.



Schematische Darstellung des Laser Ranging und Tracking von Weltraumschrott im LEO.

Optische Aufklärung (Weltraumlage)

Die stetige Zunahme der Anzahl an Weltraummissionen hat zu einer steigenden Population von sogenanntem „Weltraumschrott“ („Space Debris“) geführt. Dieser Weltraumschrott resultiert aus Explosionen von Raketenoberstufen, Oberflächendegradationen aufgrund der harschen Bedingungen im Weltraum sowie Kollisionen von Satelliten.

Durch Radar-gestützte und passiv-optische Observations und Computersimulationen ist die Ermittlung der höhenabhängigen Verteilung der Weltraumschrott-Objekte möglich. Im LEO (Low Earth Orbit) bei 900 km und 1400 km sowie im GEO (Geosynchronous Orbit, 35800 km Höhe) ist eine Anhäufung der Objekte erkennbar. Hieraus ergibt sich eine erhöhte Gefährdung der dort befindlichen Infrastruktur wie Kommunikationssatelliten im LEO. Übersteigt die Population einen kritischen

Schwellwert, droht ein Kaskadeneffekt, bei dem sich die Schrott-Objekte durch Kollisionen untereinander weiter vermehren.

Ein erster Schritt zur Vermeidung von Schäden an Satellitensystemen ist daher zum einen die exakte und umfassende Erfassung der Bahndaten aller kritischen Objekte mit Abmessungen über 1 cm. Aufgrund der im Orbit wirkenden, nicht vorhersagbaren Einflüsse auf die Bahndaten wie atmosphärische Reibung oder solare Partikelstrahlung müssen die Bahndaten bei drohenden Kollisionen aktualisiert werden.

Um diese Bahndaten mit hoher Effizienz und hoher Genauigkeit ermitteln zu können, werden am Institut für Technische Physik laserbasierte Methoden zur Abstandsbestimmung mit passiv-optischer Nachführung kombiniert. Debris-Objekte werden zunächst durch solare Beleuchtung mit einem Beobachtungsteleskop erfasst und anschließend aktiv beleuchtet. Hierzu werden Methoden für die Zielverfolgung und für die Kompensation der atmosphärischen Störungen entwickelt. Simulationsrechnungen für die Laserstrahlpropagation in turbulenter Atmosphäre unterstützen die Auslegung eines Systems. Diese Methoden werden anschließend auf einer Freistrahlstrecke unter horizontaler Propagation getestet. Parallel hierzu verläuft die Entwicklung einer geeigneten Laserstrahlquelle mit hoher Strahlqualität, Pulsenergie und Repetitionsraten im kHz Bereich. Nach erfolgreichem Funktionsnachweis im Labor wird dieses System feldfähig gemacht.

Ziel ist zunächst der Aufbau und Betrieb einer „Space Debris Monitoring Plattform“. Später, wenn die entsprechenden Hochleistungslaser zur Verfügung stehen, soll der Weltraumschrott durch lasergestützte Verfahren reduziert werden.

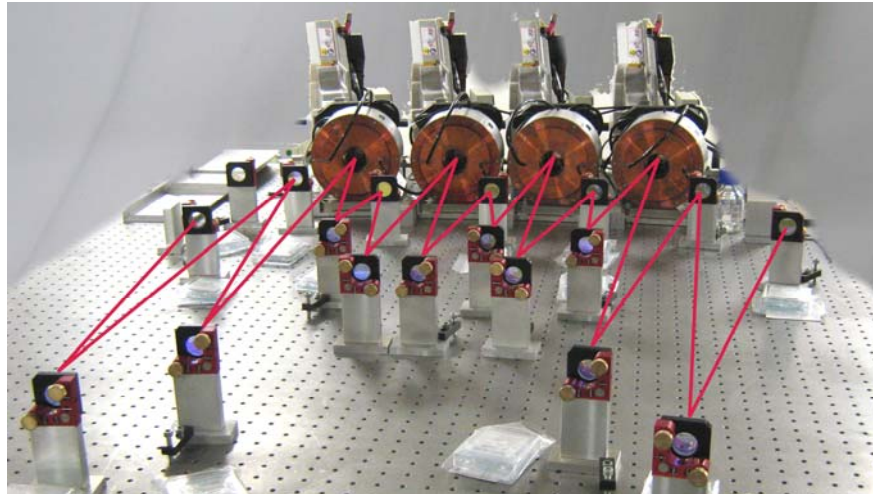
Festkörperlaser und Nichtlineare Optik (TP-FN)

Die Aufgabe der Abteilung Festkörperlaser und nichtlineare Optik ist die Entwicklung und die Adaption von Laserstrahlungsquellen für den Einsatz in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Sicherheits- und Wehrtechnik. Einige dieser Anwendungen erfordern Quellen höchster Leistung und Strahlqualität – z.B. für die Energieübertragung mittels Lasern („Powerbeaming“) oder die Abwehr von Mörsergranaten und Raketen. Für andere Anwendungsbereiche werden Laserquellen benötigt, die eine individuelle Wahl der Wellenlänge mit einer hohen Frequenzstabilität verbinden, z.B. zur Ferndetektion von Schad- und Gefahrstoffen, bei der Atmosphärenforschung oder für die optische Kommunikation.

Hochleistungslaser

Bei der Entwicklung von leistungsstarken Strahlquellen mit hoher Strahlqualität konzentrieren sich die Aktivitäten auf Konzepte auf der Basis des Scheibenlasers. Dieser diodengepumpte Festkörperlaser vereint Leistungsskalierbarkeit mit exzellenter Brillanz und hoher Effizienz. Das laseraktive Medium besteht aus einer sehr dünnen Kristallscheibe (einige hundert Mikrometer dick), die rückseitig gekühlt wird. Dadurch können sehr hohe Pumpleistungsdichten bei minimierter thermischer Linsenwirkung realisiert werden. Die Leistungsskalierung kann unter anderem durch Vergrößerung der aktiven Fläche bei konstanter Pumpleistungsdichte erfolgen. Hierbei bleiben sowohl die Temperaturen in der Scheibe als auch die erforderliche Brillanz der Pumpdioden konstant.

Industrielle Scheibenlaser sind heute bis zu 16 kW Dauerstrichleistung erhält-



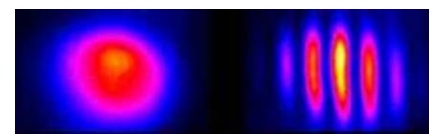
Experiment zur Kopplung von vier Laserscheiben in einem Resonator, Ausgangsleistung bis zu 3 kW.

lich. Diese Laser arbeiten typischerweise im Multi-Mode-Betrieb mit $M^2 > 20$. Am Institut für Technische Physik konzentrieren sich die Arbeiten auf den Nachweis von skalierbaren Scheibenlaserleistungen mit nahezu beugungsbegrenzter Strahlqualität bis in den höchsten Leistungsbe-

Kohärente Kopplung

Die Kopplung mehrerer Laser ist ein Konzept, um Leistungslimitierungen von Einzelquellen zu umgehen. Bei der geometrischen Kopplung unabhängiger Laserquellen verschlechtert sich die Strahlqualität deutlich im Vergleich zur Einzelquelle. Werden die Laserquellen jedoch derart gekoppelt, dass die Phasenbeziehungen der Einzelquellen konstant sind, spricht man von kohärenter Kopplung. Die gekoppelten Laserquellen verhalten sich dann so, als seien sie Teilaperturen einer einzigen Laserquelle und ihre Strahlqualität ist die der Einzelquellen.

Beim Institut für Technische Physik wird die Kopplung von Master-Oszillator-Power-Amplifier-Systemen (MOPA) mit aktiver Phasenregelung untersucht. Mit einem solchen System wurde die kohärente Kopplung von mehreren Faserlasern beispielhaft demonstriert.



Kohärente Kopplung von Faserlasern, links: Phasenregelung aus, rechts: Phasenregelung aktiv.

Nichtlineare Optik

Erprobte und effiziente Festkörper-Lasermaterialien sind nur für wenige Wellenlängenbereiche verfügbar, typischerweise emittieren diese Laser im nahen Infrarot. Zum Nachweis von Schad- und Gefahrstoffen oder zur Detektion atmosphärischer Spurengase sind jedoch UV-Quellen für die laserinduzierte Fluoreszenzdetektion (LIF) und Quellen im mittleren Infrarot für Absorptionsmessungen an Schwingungs- und Rotationsübergängen von Molekülen besonders geeignet. Um gezielt und mit der erforderlichen Frequenzstabilität Strahlung mit diesen Wellenlängen erzeugen zu können, werden in der Abteilung FN verschiedene Verfahren der nichtlinearen Frequenzkonversion untersucht und gezielt für die jeweiligen Anwendungen entwickelt. Hierzu zählen unter anderem die Frequenzvervielfachung, die Summen- und Differenzfrequenzerzeugung sowie der Einsatz optisch-parametrischer Oszillatoren und Verstärker.

Gerichtete optische Gegenmaßnahmen

Ein sicherheitsrelevantes Anwendungsfeld der nichtlinearen Frequenzkonversion ist die Abwehr von mit Wärmesuchköpfen ausgestatteten Raketen. In einigen Einsatzszenarien werden Strahlungsquellen benötigt, die hohe Laserleistung bzw. hohe Pulsenergie in den von diesen Suchköpfen genutzten Wellenlängenbereichen liefern. Geeignete Festkörper-Laserquellen existieren hierfür nicht, daher werden in der Abteilung FN Verfahren der nichtlinearen Frequenzkonversion für diese Wellenlängenbereiche untersucht.

Pulslaser

Für viele Verfahren der Ferndetektion sind gepulste Strahlungsquellen erforderlich, sowohl um die nötigen Intensitäten zu erreichen als auch um über Laufzeitmessungen Entfernungsinformationen zu erhalten. Weiterhin erfordert die nichtlineare Frequenzkonversion in der Regel gepulste Pump-laser. Insbesondere Laser, die hohe Pulsenergie mit hoher mittlerer Leistung und guter Strahlqualität verb-

den, sind kommerziell nicht verfügbar und werden daher am Institut für Technische Physik selbst entwickelt. Hohe Pulsenergien ($> 1 \text{ J}$) und hohe mittlere Leistungen ($> 1 \text{ kW}$) sind beispielsweise zur Abstandsbestimmung mittels Pulslaufzeitmessungen zu kleinen, sehr weit entfernten Objekten erforderlich – etwa zur Detektion des sogenannten Weltraumschrotts. Auf diese Weise lassen sich mit kurzen Messzeiten sehr genaue Bahndaten dieser Teile bestimmen. Bei weiterer Erhöhung der Pulsenergien lassen sich diese in Umlaufbahnen befindlichen Trümmerteile nicht nur detektieren, sondern auch durch Laserablation soweit abbremsen, dass sie schließlich in der Atmosphäre verglühen.

Solche gepulsten Laserquellen mit hoher Leistung und hoher Pulsenergie werden bei FN auf der Grundlage des Scheibenlasers entwickelt. Besonders vorteilhaft ist hierbei die Möglichkeit der Leistungsskalierung durch Vergrößerung der aktiven Fläche: Sowohl die Pulsenergie pro Fläche als auch die Pulsspitzenintensität bleiben bei dieser Skalierung unkritisch.

Laserquellen für Emissionswellenlängen $> 1,4 \mu\text{m}$

Die Gefährdung der Augen durch Laserstrahlung mit Wellenlängen größer als $1,4 \mu\text{m}$ ist deutlich geringer, da diese Strahlung nicht auf die Netzhaut fokussiert wird. Anwendungen, wie z.B. LIDAR-Messungen für die Atmosphärenforschung oder die Stand-off Detektion, können mit reduziertem Gefährdungspotenzial durchgeführt werden. Auch für die Lasermaterialbearbeitung ergeben sich daraus geringere Anforderungen an die Abschirmung der Streustrahlung. Außerdem erfordern viele Verfahren für die Frequenzkonversion in den Bereich des mittleren Infrarots langwellige Pump-laser.

Eine erfolgreiche Realisierung einer effizienten und skalierbaren Strahlquelle mit einer Emissionswellenlänge von $2 \mu\text{m}$ ist der am Institut für Technische Physik entwickelte Ho:YAG-Scheibenlaser.

Dieser Laser besitzt auch das Potenzial zur Erzeugung hoher Pulsenergien.

Eine weitere untersuchte Klasse von Lasermaterialien sind mit Übergangsmetallen dotierte Verbindungshalbleiter, insbesondere Cr:ZnSe. Dieses Material bietet ein sehr breites Verstärkungsspektrum zwischen $2 \mu\text{m}$ und $3 \mu\text{m}$. Dadurch ist es besonders geeignet für Laserquellen wie sie für Ferndetektionsanwendungen benötigt werden, die auf der Messung molekularer Schwingungs- und Rotationsübergängen beruhen.

Aktive Optische Systeme (TP-AO)

Atmosphärische Turbulenz beeinträchtigt die Propagation von Laserstrahlung insbesondere bei Ausbreitung entlang der bodennahen Grenzschicht. In der Abteilung Aktive Optische Systeme (TP-AO) werden Systeme entwickelt, welche die Kompensation dieser atmosphärischen Störungen beim Aussenden von Laserstrahlung und beim Imaging von Objekten unter aktiver Laserbeleuchtung zum Ziel haben.

Ein zweiter Aufgabenbereich ist die Qualifizierung von Laseroptiken für die Anwendung in Hochleistungslasern bzw. für den Einsatz im Orbit. Hierzu werden Optiken normgerechten Zerstörungswellentests unterzogen. Nichtlineare optische Kristalle werden in ihrer Konversionseffizienz und Strahlungsresistenz unter Protonen- und Gammastrahlung verglichen. Darüber hinaus werden Untersuchungen zur laserinduzierten Kontamination ausgeführt.

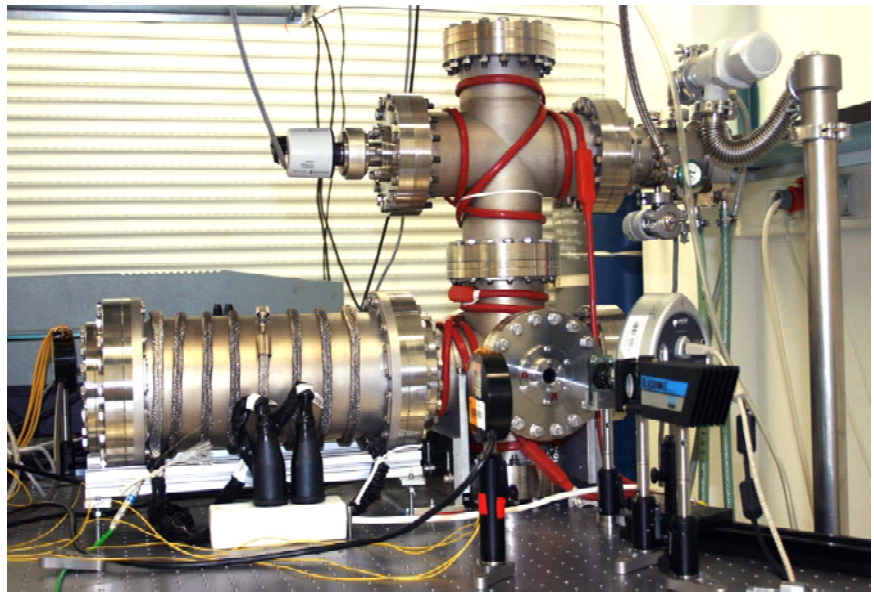
Atmosphärisches Echtzeit Laser Tracking

Die Erfassung und das kontinuierliche Nachführen auf schnell fliegende, entfernte Objekte wie UAVs oder Weltraum-

schrott erfordern hochpräzise und hochempfindliche Trackingsysteme, welche Genauigkeiten im sub μ rad Bereich und Bandbreiten im kHz Bereich besitzen. Diese Anforderungen ergeben sich aus den unvermeidlichen Luftturbulenzen der Atmosphäre, welche u. a. zu einer Destabilisierung der Schwerpunktslage eines Laserstrahls und infolgedessen zu einer reduzierten Leistungsdichte auf dem Zielobjekt führen. Weitere Störungen der Strahlrichtung werden hervorgerufen durch Vibrationen der Montierung der Sendeoptik. Die typischen Zeitkonstanten für Änderungen der atmosphärischen Turbulenzzellen liegen im Bereich von 10 bis 100 ms. In Abhängigkeit von den vorliegenden meteorologischen Bedingungen treten dabei Ablenkwinkel von bis zu 100 μ rad auf.

Die in der Abteilung TP-AO entwickelten Laser Tracking Systeme erfüllen diese Anforderungen und sind darüber hinaus echtzeitfähig. Die Systeme basieren auf kommerziell erhältlichen Kippspiegeln mit piezotriebenen Aktuatoren. Als Positionssensoren kommen hochempfindliche Quadrantendioden mit selbstentwickelter Messverstärkerelektronik zum Einsatz. Eine kompakte Laser Tracking Einheit wurde erfolgreich an ein 10 Zoll Schmidt-Cassegrain Spiegelteleskop angeflanscht, um Trackingexperimente über große Distanzen durchführen zu können. Zur Überprüfung der Eignung im Feld wurden etliche Tests auf der Laserfreistrahlstrecke des Institutes für Technische Physik durchgeführt. Bei diesen Tests konnte über eine Trassenlänge von 130 m eine turbulenzbedingte Strahlrichtungsinstabilität von 6 μ rad (Standardabweichung) auf weniger als 300 nrad reduziert werden. Dies entspricht einer Richtungsschwankung von ca. 1 mm auf 3 km Abstand.

Die bei den atmosphärischen Nachführexperimenten gewonnenen Daten erlauben die Skalierung der Systemanforderungen auf relevante Entfernungen von mehreren Kilometern. Darüber hinaus werden dadurch die Grundlagen gelegt, um Satelliten und Weltraumschrott auf



ihren Bahnen im LEO und GEO hochpräzise verfolgen und die entsprechenden Bahndaten bestimmen zu können.

Kompensiertes Imaging im Freifeld

Hochauflösende Teleskopsysteme benötigen neben exzellenten Abbildungseigenschaften auch eine möglichst große Eintrittspupille, um die beugungsbedingte Auflösung zu verbessern. Durch Wind, Luftdruck- und Temperaturunterschiede entstehen Turbulenzen im Strahlengang, die den Brechungsindex über den Strahlquerschnitt zeitlich und räumlich variieren lassen. Daraus resultiert eine Verbreiterung des minimal möglichen Beugungsflecks, was zu einem Verlust an Bildetails führt. Adaptive Optik kann diese Einschränkungen aufheben.

Ein mobiler Demonstrationsaufbau wurde mit dem Hintergrund entwickelt, den Prinzipnachweis der Kompensation von lokaler Turbulenz zu führen. In diesem System werden ein schneller Shack-Hartmann Wellenfrontsensor (Bandbreite 1 kHz, 16 x 16 Mikrolinsenarray) und ein adaptiver Membranspiegel mit 52 Aktuatoren verwendet. Mit diesem System konnte die Kompensation lokaler Turbulenz erfolgreich demonstriert werden. Es

UHV Kontaminationsanlage zum Test der ATLID Auskoppelfenster der ESA EarthCARE Mission.



Demonstrationsaufbau eines mobilen, hochauflösenden Beobachtungssystems mit adaptiver Optik.

zeigte sich jedoch, dass die Kompensation von volumenverteilter Turbulenz auf der Laserfreistrahlstrecke weit weniger gut gelang. Dies liegt an den hohen Anforderungen an die räumliche Auflösung bzw. die Bandbreite des Wellenfrontsensors und des adaptiven Spiegels. Gleichzeitig begrenzt der isoplanatische Winkel den effektiv nutzbaren Bildbereich. Multikonjugierte adaptive optische Verfahren oder iterative Optimierungsalgorithmen bieten einen neuen Ansatz, um diese Anforderungen zukünftig besser erfüllen zu können. Eine vollständige Kompensation der volumenverteilten Turbulenz ist mit den heutigen Ansätzen jedoch nicht möglich.

Testzentrum für Laseroptiken

Sowohl im zivilen als auch im wehrtechnischen Bereich erfordert die Entwicklung von kompakten Lasersystemen mit hoher Leistung die Verfügbarkeit von Laseroptiken mit hohen Zerstörschwellen. Vor diesem Hintergrund betreibt TP-AO eine Testanlage zur Qualifizierung von Laseroptiken und optronischen Komponenten, mit der insbesondere auch Mehrpulszerstörschwellen ermittelt werden können. Darüber hinaus werden auch die auftretenden laserinduzierten Schädigungsprozesse analysiert und bewertet. Dies bildet eine Voraussetzung für die Entwicklung von Methoden zum Schutz gegen Laserstrahlung. Diese Arbeiten erfolgen insbesondere auch als Dienstleistung für externe Kunden. Die Zerstörschwellen werden unter Reinraumbedingungen der Klasse 1000 und konform mit dem internationalen Standard ISO 11254-2 ermittelt. Die Tests erfolgen bei den gängigen Nd:YAG Laserwellenlängen im infraroten (1064 nm), sichtbaren (532 nm) und ultravioletten (355 nm) Spektralbereich bei Pulsdauern von wenigen Nanosekunden. Sämtliche Tests an optischen Komponenten können sowohl unter Standardatmosphäre als auch unter Vakuumbedingungen durchgeführt werden, um die Bedingungen im Orbit zu simulieren. Am Zerstörschwellenteststand des DLR werden alle relevanten Laseroptiken für die kommenden ESA-Missionen (ADM Aeolus und EarthCARE) qualifiziert.

Qualifizierung von Frequenzkonversionskristallen

Nichtlineare optische Kristalle sind wichtige Komponenten vieler Lasersysteme. Vor dem Einsatz solcher Kristalle im Weltraum muss geklärt werden, ob ihre optischen Eigenschaften durch die dort allgegenwärtige kosmische Strahlung negativ beeinflusst werden. Im Rahmen eines ESA Projektes werden dazu umfangreiche Untersuchungen mit verschiedenen Frequenzverdoppler- bzw. Frequenzverdreifachkristallen durchgeführt. Für die Untersuchungen wurden die Kristalle in mehreren Schritten hochenergetischer Protonen- und Gammastrahlung ausgesetzt.

Zusätzlich zu den Bestrahlungstests werden auch umfangreiche Langzeiteffizienzmessungen zur Frequenzverdopplung und –verdreifachung durchgeführt. Ziel ist es, die optimalen Kristalle für die Anwendung im Weltraum zu ermitteln und eine optische Effizienz von über 30 % für die Generierung von Laserstrahlung bei 355 nm zu erreichen.

Laserinduzierte Kontamination

Beim Einsatz von Lasersystemen im Weltraum spielt die laserinduzierte Kontamination eine unrühmliche Rolle, denn schon mehrere Missionen der NASA wie LITE, MOLA, ICESAT sind aus diesem Grunde gescheitert oder konnten nicht wie geplant ausgeführt werden. Ursache dafür ist das Ausgasen von organischen und anorganischen Molekülen aus Klebstoffen, Isolationsmaterialien oder Leiterplatten. Obwohl prinzipiell nur Komponenten mit geringer Ausgasrate (TML (total mass loss) < 1%; CVCM (collected volatile condensable material) < 0.1%) zugelassen sind und die Materialien durch vorheriges Ausheizen für den Einsatz im Weltraum konditioniert werden, ist es nicht möglich, das Ausgasen vollständig zu verhindern. Treten die ausgegasteten Moleküle in Wechselwirkung mit Laserstrahlung, kommt es zur Zersetzung und Ablagerung der Rückstände auf den Optiken. Dies tritt insbesondere dann auf, wenn es sich um intensive Strahlung im kurzwelligen

Wellenlängenbereich handelt. Selbst kleinste Ablagerungen mit Dicken von wenigen Nanometern können die Transmission so herabsetzen, dass die Lebensdauer des gesamten Lasersystems deutlich reduziert wird oder sogar ein Totalausfall droht. Laserinduzierte Kontamination tritt insbesondere im Vakuum auf, kann aber auch die Lebensdauer von gekapselten Lasersystemen beeinträchtigen.

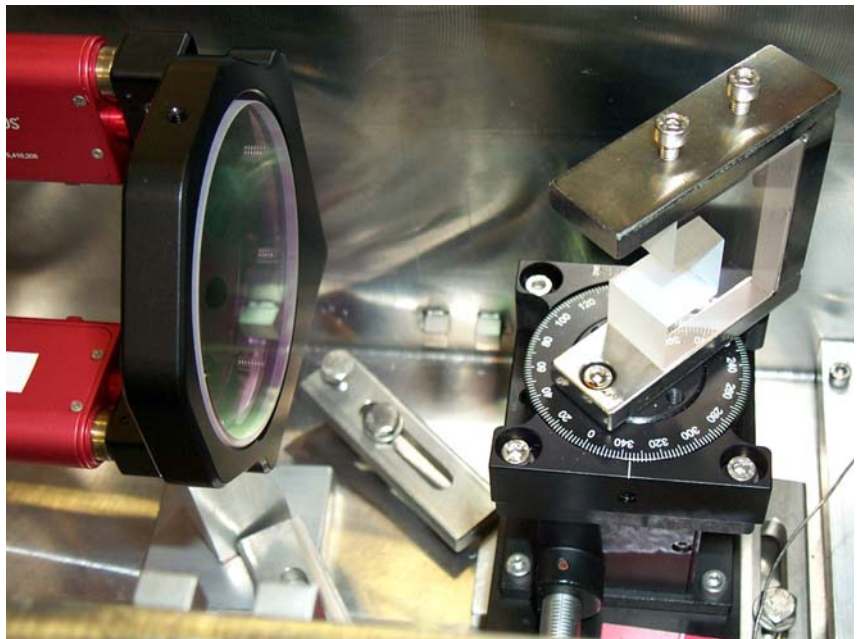
Um solche Risiken zu vermeiden oder deutlich zu minimieren, sind grundlegende Untersuchungen zur Entstehung und zum Wachstum solcher Ablagerungen erforderlich. Hierfür werden bei TP-AO Ultrahochvakuum-Kontaminationsanlagen betrieben, mit welchen im Auftrag der europäischen Weltraumbehörde (ESA) ein Screening der verwendeten Materialien erfolgt. Zusätzlich werden Methoden entwickelt um den molekularen Transport bzw. die Anlagerung an Optiken zu verhindern.

Hochenergielaser / COIL (TP-HL)

Die Abteilung Hochenergielaser / COIL beschäftigt sich mit der Erzeugung hochbrillanter Laserstrahlung und der Untersuchung der Propagation und Wirkung von Laserstrahlen unter realen atmosphärischen Bedingungen für ausgesuchte Anwendungsbereiche. Schwerpunkt der aktuellen Forschungsarbeiten ist die Entwicklung und Beurteilung laser-gestützter Verfahren zur Stand-off Detektion von Schad- und Gefahrstoffen.

Hochenergielaser

Für die effiziente Fernwirkung von Laserstrahlung werden leistungsstarke Strahlquellen mit hoher Brillanz benötigt, die eine gute Transmission durch die Atmosphäre aufweisen. Am Standort Lampoldshausen werden Forschungs- und



Entwicklungsarbeiten an und mit dem Chemischen Sauerstoff-Iodlaser (COIL) durchgeführt. Mit seinen hervorragenden Skalierungseigenschaften, seinem hohen Wirkungsgrad, seinem homogenen Verstärkungsmedium und seiner Wellenlänge bei $1,315 \mu\text{m}$ bietet COIL optimale Voraussetzungen für Anwendungen im Hochenergiebereich. Das Institut betreibt mit bis zu 13 kW Ausgangsleistung den leistungsstärksten Laser dieser Art in Europa.

Resonatorentwicklung

Für Hochenergielaser mit schwach verstärkenden laseraktiven Medien werden in numerischen Studien richtungsweisende, feldfähige Resonatorkonzepte ausgelegt und bewertet. Die Untersuchungen zur auskoppelbaren Leistung und Strahlqualität sind auf die Propagationseigenschaften der Laserstrahlung in der freien Atmosphäre ausgerichtet.

Die Auslegung und Simulation neuer Resonatoren erfolgt numerisch. Grundlage der Berechnungen ist die Integralgleichung der Fresnel-Kirchhoff Formulierung des Huygens'schen Prinzips. Vielver-

Resonator für hohe Leistungsklassen: MNBUR (Modified Negative Branch Confocal Unstable Resonator) mit Scraper.



Lasergestützte Stand-off Detektion auf der Freistrahlstrecke.

sprechende Resonatorarchitekturen werden unter anderen am Chemischen-Sauerstoff-Iodlaser eingesetzt und hinsichtlich ihrer Auskoppelereigenschaften optimiert. Die experimentelle Validierung bildet auch die Basis für Skalierungsrechnungen zu Lasersystemen hoher und höchster Leistungsklassen.

Laserfreistrahlstrecke

Die Fernwirkung von Laserstrahlung wird maßgeblich von atmosphärischen Eigenschaften beeinflusst und kann daher nur begrenzt aus konventionellen Laboruntersuchungen abgeleitet werden. Um belastbare Grundlagen bereitzustellen, müssen Untersuchungen zur Strahlpropagation und -wirkung unter realen atmosphärischen Bedingungen (Sonneneinstrahlung, Wetter) durchgeführt werden.

Am Standort Lampoldshausen wurde für experimentelle Untersuchungen zur Laserstrahlpropagation eine Laser-Freistrahlstrecke konzipiert und aufgebaut. Dieser Prüfstand ist bezüglich seiner Versorgungs- und Messtechnik ausdrücklich für ein breites Anwendungsspektrum ausgerüstet. Eine ausgereifte Grundkonzeption ermöglicht die

Aufnahme verschiedenster Lasertypen und Messverfahren sowie komplexer Empfangssysteme. Modernste Video- und Steuerungstechnik ergänzen strukturelle Lasersicherheitsmaßnahmen und erlauben eine umfangreiche Experimentüberwachung und detaillierte Experimentinformation. Neben den institutsinternen Arbeiten zur Laserstrahlpropagation wird die Freistrahlstrecke (Struktur und Umweltdiagnostik, optional auch verfügbare Lasersysteme) für Kunden bereit gestellt und an deren Anforderungen angepasst.

Turbulenzdiagnostik und Mikrometeorologie

Um Ergebnisse zur atmosphärischen Propagation und Fernwirkung bewerten zu können, müssen die aktuellen Eigenschaften der Atmosphäre umfassend berücksichtigt werden. Eine kontinuierliche, auf die Fragestellungen zur atmosphärischen Propagation abgestimmte Wettermesstechnik und fortlaufende topografische Untersuchungen zum Verhalten der optischen Turbulenz in Bodennähe gestatten die Einbindung der lokalen Gegebenheiten in den nationalen wie internationalen Rahmen.

Atmosphärische Propagation

Die Untersuchungen zur Propagation von Hochleistungslaserstrahlung werden durch Experimente zum Propagationsverhalten von Laserstrahlen unterschiedlicher Wellenlänge und Leistungsdichte ergänzt. Die experimentellen Arbeiten werden durch numerische Studien zur Beschreibung der atmosphärischen Propagation begleitet. Dazu werden intern entwickelte und fortlaufend erweiterte Simulationsmodelle eingesetzt. Des Weiteren stehen kommerzielle Softwarepakete für singuläre Fragestellungen zur Verfügung. Experimentell abgesicherte Ergebnisse dienen als Basis für Simulationsrechnungen zu weiterführenden Aufgabenstellungen für Imaging und Tracking sowie für die abteilungsübergreifenden Themen „Lasereffektoren großer Reichweite“ und „Optische Aufklärung (Weltraumlage)“.

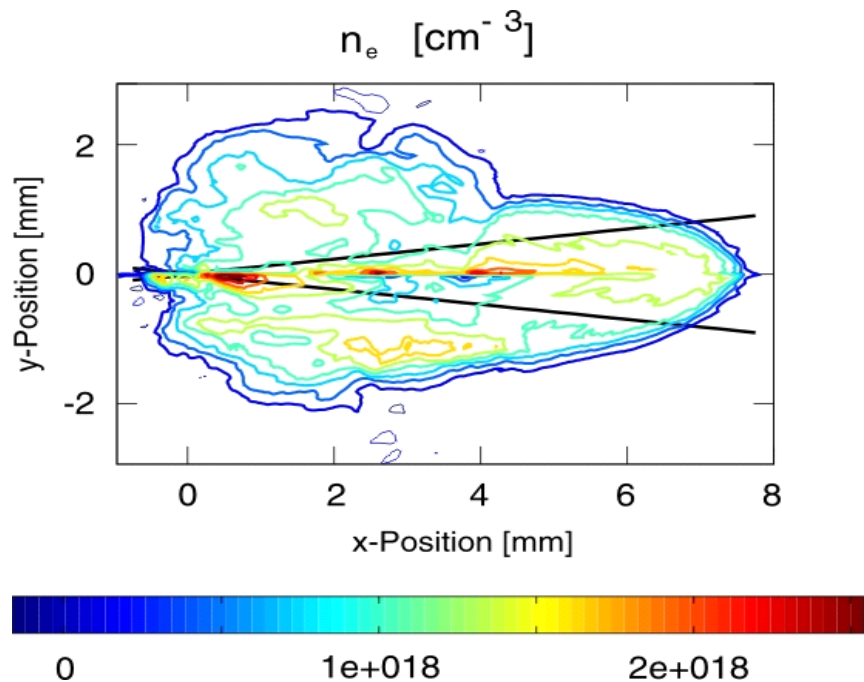
Wirkung

Die Wirkung von Hochenergiestrahlung auf Zielstrukturen wird durch vielfältige Messmethoden diagnostiziert. Dazu gehören neben konventioneller Videotechnik, räumlicher sowie zeitlicher Temperaturverlaufsmessung auch Infrarot- und Hochgeschwindigkeitsvideografie an stationären und bewegten Targets. Neben Laboruntersuchungen geben Testserien zur Beurteilung der Laserfernwirkung an stationären wie bewegten Objekten mit nachgeführter und nicht nachgeführter COIL-Strahlung Aufschluss über den Einfluss der Atmosphäre auf die Laserwirkung am Ziel. Die daraus ableitbaren detaillierten Informationen stellen die Grundlage dar zur Festlegung der Anforderungen an effiziente Trackingsysteme.

Lasergestützte Stand-off Detektion

Dieser Forschungsschwerpunkt befasst sich im Rahmen der Sicherheitsforschung mit integrativen Systemen zur Detektion von Schad- und Gefahrstoffen an Oberflächen oder in der Luft. Im Gegensatz zu den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Fernwirkung kontinuierlicher Laserstrahlung werden hier gepulste Hochleistungslaser eingesetzt.

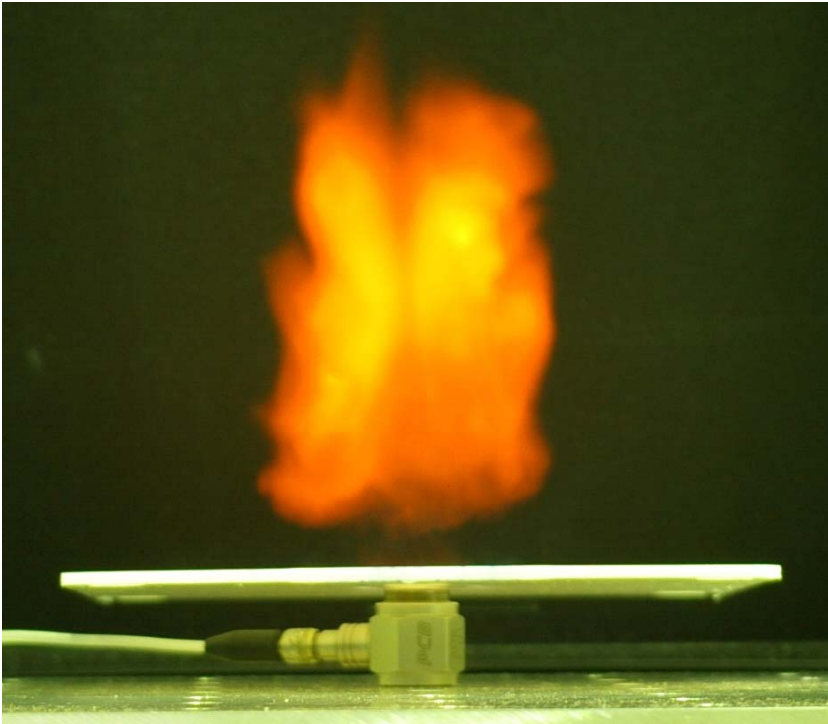
Im Institut für Technische Physik kann auf Erfahrungen aufgebaut werden aus dem Bereich der Ferndetektion gasförmiger Stoffe. Beispiele hierfür sind die Detektion von Methangas in der Umgebung einer möglichen Leckage an einer Erdgaspipeline (CHARM) oder von in der Atmosphäre verteiltem Wasserdampf (WALES). Bei der Stand-off Detektion stellt darüber hinaus vor allem das Erfassen und Erkennen unerwarteter Substanzen eine Herausforderung an die Detektions- und Identifikationsmethoden dar. Wegen der Vielzahl möglicher Gefahrstoffe wird für ein frühzeitiges und zuverlässiges Erfassen potenzieller Gefahrenzustände auf die Kombination verschiedener Messverfahren gesetzt. Für eine vollständige Situationsbeschreibung werden als Diagnostik zur kontaktfreien und diskreten Stand-off Detektion LIDAR (Light Detection and Ranging), DIAL (Differential Absorption), LIF (Laser Indu-



ced Fluorescence), Raman-Spektroskopie und für Anwendungen auf Oberflächen zusätzlich LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) in Betracht gezogen und deren Anwendbarkeit bewertet. Bei allen Verfahren wird ausgenutzt, dass Laserlicht durch Materie gestreut, absorbiert bzw. remittiert wird. Die zurück kommende Strahlung wird mit einem Teleskop aufgesammelt und bezüglich ihrer Intensität, Polarisation und spektralen Verteilung untersucht. Im Abgleich mit vorhandenen Datenbanken können dann eventuell vorhandene Gefahrstoffe klassifiziert oder sogar identifiziert werden.

Im Rahmen erster Validierungsuntersuchungen auf der Laserfreistrahlstrecke konnte mit dem LIBS-Verfahren auf Oberflächen in 50 m Entfernung Gold im Nanogrammbereich nachgewiesen werden. Als Beispiel für Explosivstoffe wurde in 130 m Entfernung eine mit Schwarzpulver belegte Metalloberfläche mit Laserstrahlung beaufschlagt. Auch bei extremer Sonneneinstrahlung konnte im Einzelpuls die im Schwarzpulver enthaltene Substanz KNO_3 diagnostiziert werden.

Interferometrische Bestimmung der Elektronendichte n_e eines stabilen, lasergeheizten Argon-Plasmas.



Messung des Impulsübertrages bei Laser-Material-Wechselwirkung (Ablation).

Studien & Konzepte (TP-SK)

Die Abteilung Studien & Konzepte beschäftigt sich mit experimentellen und theoretischen Studien zu spezifischen Aufgaben und Anwendungen von bereits in der Grundlage erforschten Lasersystemen sowie konzeptionellen Studienuntersuchungen zur Auslegung und zum Anwendungspotenzial neuer Lasersysteme. Luft- und raumfahrtrelevant sind insbesondere die Experimentalstudien zur laserinduzierten Strömungssteuerung und zum Laserantrieb.

Studien

Gegenstand der Konzeptstudien sind zumeist systemtechnische und systemübergreifende Aspekte der (wehrtechnisch relevanten) Anwendungen von Lasern. Auch die Analyse und Bewertung der Leistungsfähigkeit laseraktiver Mate-

rialien und nichtlinearer optischer Komponenten spielt eine besondere Rolle. Weitere Aktivitäten sind Analysen zum Bedrohungspotenzial durch Laserstrahlung in unterschiedlichen Szenarien.

Laserinduzierte Strömungskontrolle

Die aktive Beeinflussung technischer Strömungen ist eine vielversprechende Technologie zur Reduzierung des aerodynamischen Widerstands.

So ist es möglich durch eine Energiedeposition im Strömungsfeld eines Überschallflugkörpers eine Modifikation der Verdichtungsstöße herbeizuführen und den Widerstand damit zu reduzieren. Die experimentell und numerisch bestätigte Reduktion des Wellenwiderstands stellt sich hierbei durch das lokale Heizen der Strömung ein.

Ziel der Arbeiten ist die Realisierung der Energiedeposition durch ein laserinduziertes Plasma. Dabei wird durch die Ionisation des Gases im Laserfokus eine effiziente Absorption der eingestrahnten Laserenergie erzielt, ein Plasma gebildet und das Gas mit hohem Wirkungsgrad lokal erhitzt.

Die energetische und dynamische Charakterisierung der Energiedeposition erfolgt anhand optischer Diagnostik. Durch interferometrische Messungen können Dichteunterschiede im Messvolumen bestimmt werden, die Aufschluss geben über die Elektronendichte (n_e) im Plasma sowie den langsamen thermischen Wärmeleitungsprozess.

Laserantriebe

Die Arbeiten zum Laserantrieb am Institut für Technische Physik umfassen sowohl Grundlagenuntersuchungen zum gepulsten thermischen Laserantrieb mit stationären Hochleistungslaserquellen, als auch die Entwicklung und Qualifizierung von laserablativen Mikrotriebwerken.

Das Prinzip des thermischen Laserantriebs basiert auf einem repetitiv gepulsten Antriebsmechanismus. Eine Brennkammer in Form eines Parabolspiegels kon-

zentriert 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. Mit Hilfe eines metallischen Zündstifts auf der Symmetrieachse der Brennkammer wird eine gleichmäßige, reproduzierbare Zündung des Detonationsprozesses sichergestellt. Hochgeschwindigkeitsaufnahmen gepulster Freiflüge des Flugkörpers zeigen innerhalb gewisser Grenzen eine Rückorientierung zum Laserstrahl bei Seitversatz oder Verkippung. Durch Berechnungen zur Intensitätsverteilung in der Brennkammer werden die dabei auftretenden Kräfte für dieses nichtlineare dynamische System modelliert. So können geeignete Eingangsparameter für stabile Flugbahnen sowie kritische Randbedingungen durch Berechnungen vorhergesagt werden. Eine aktive Flugregelung wird durch die Verkippung des Zündstiftes, bzw. des Treibstoffzylinders, gegen die Symmetrieachse der Brennkammer erreicht.

Beim laserablativen Mikroantrieb befindet sich die (kompakte) Laserquelle direkt beim Triebwerk. Der Schub wird durch den Rückstoß des ablatierten Treibstoffs erzeugt.

Zur Generierung hochgenauer Impuls-Bits rücken metallische Treibstoffe von Aluminium bis hin zu Gold in den Mittelpunkt des Interesses. Die Ablation von Metallen resultiert zudem in einen hohen spezifischen Impuls.

Ein Teststand mit einem Festkörperlaser steht für experimentelle Untersuchungen zur Verfügung. Die Experimente werden durch theoretische Modellierungen des Antriebsprozesses unterstützt und ergänzt. Die geplanten Analysen im Vakuum umfassen Messungen auf einer hochempfindlichen Schubwaage sowie Untersuchungen zur Ausbreitungscharakteristik des Ablationsjets. Für die Integration des Konzepts in ein störungsfreies Gesamtsystem ist die trägheitsfreie Führung

des Laserstrahls durch aktive optische Systeme über die Targetfläche von entscheidender Bedeutung. Um die Stabilität des Systems für spätere Missionen zu gewährleisten, sind außerdem Langzeitmessungen zur gleichbleibend reproduzierbaren Performance unabdingbar.

Kontakte für weiterführende Informationen

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Institut für Technische Physik
Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart
Telefon: +49 (0)711 6862-773
Telefax: +49 (0)711 6862-788
E-Mail: itp@dlr.de
<http://www.dlr.de/TP>

Institutsdirektor:

PD Dr. Adolf Giesen
Telefon: +49 (0)711 6862-302
E-Mail: Adolf.Giesen@dlr.de

Öffentlichkeitsarbeit:

Dr. Hans-Albert Eckel
Telefon: +49 (0)711 6862-714
E-Mail: Hans-Albert.Eckel@dlr.de

Akquisition & Support:

Dr. Wolfram Wittwer
Telefon: +49 (0)711 6862-774
E-Mail: Wolfram.Wittwer@dlr.de

Verantwortliche Wissenschaftler:

Festkörperlaser und Nichtlineare Optik
Dipl.-Phys. Jochen Speiser
Telefon: +49 (0)711 6862-451
E-Mail: Jochen.Speiser@dlr.de

Hochenergielaser / COIL
Dr. Jürgen Handke
Telefon: +49 (0)6298 28-230
E-Mail: Juergen.Handke@dlr.de

Aktive Optische Systeme
Dipl.-Phys. ETH Wolfgang Riede
Telefon: +49 (0)711 6862-515
E-Mail: Wolfgang.Riede@dlr.de

Studien & Konzepte
Dr. Hans-Albert Eckel
Telefon: +49 (0)711 6862-714
E-Mail: Hans-Albert.Eckel@dlr.de

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 13 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

Die Mission des DLR umfasst die Erforschung von Erde und Sonnensystem, Forschung für den Erhalt der Umwelt und umweltverträgliche Technologien, zur Steigerung der Mobilität sowie für Kommunikation und Sicherheit. Das Forschungsportfolio des DLR reicht von der Grundlagenforschung zu innovativen Anwendungen und Produkten von morgen. So trägt das im DLR gewonnene wissenschaftliche und technische Know-how zur Stärkung des Industrie- und Technologiestandortes Deutschland bei. Das DLR betreibt Großforschungsanlagen für eigene Projekte sowie als Dienstleistung für Kunden und Partner. Darüber hinaus fördert das DLR den wissenschaftlichen Nachwuchs, betreibt kompetente Politikberatung und ist eine treibende Kraft in den Regionen seiner Standorte.



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