

Neue Laser für die Klimaforschung

28. Februar 2023 || Seite 1 | 12

Wetterberichte, Klimamodelle oder Raketenstarts – sie alle benötigen präzise Daten aus der Atmosphäre. LIDAR (Light Detection And Ranging)-Systeme schießen Laserstrahlen in den Himmel. Aus dem rückgestreuten Licht lassen sich Wind- und Temperaturdaten berechnen – in einer Höhe von bis zu 100 km. Ein Team vom Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und dem Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik IAP hat ein portables LIDAR-System entwickelt, das autonom arbeitet. In Zukunft sollen solche Systeme in Serie gefertigt werden, um als Netzwerk Klimadaten in einer neuen Qualität zu liefern.

Der Blick nach oben

Ein Oktober-Abend am Ostseestrand: Das Wasser ist erstaunlich klar, doch Josef Höffner blickt nach oben. Wo andere nur Himmel und Wolken sehen, tut sich für ihn eine riesige Landkarte auf. »Gerade von der oberen Atmosphäre wissen wir noch nicht viel«, kommentiert er. »Da sind noch reichlich weiße Flecken auf der Landkarte.« Diese Flecken zu erforschen ist sein Beruf – er ist Atmosphärenphysiker.



Bild 1: Am Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik in Kühlungsborn an der Ostsee erforscht Josef Höffner die verschiedenen Schichten der Atmosphäre.

© Fraunhofer ILT, Aachen / Ralf Baumgarten.

Pressekontakt

Petra Nolis M.A. | Gruppenleitung Kommunikation | Telefon +49 241 8906-662 | petra.nolis@ilt.fraunhofer.de
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT | Steinbachstraße 15 | 52074 Aachen | www.ilt.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

Mit seiner Forschung ist er schon viel herumgekommen: Für Messkampagnen fuhr er mit dem Schiff Polarstern um die halbe Welt, er war in der Antarktis, auf Spitzbergen und in Nordnorwegen. »Die Polregionen sind für die Atmosphärenforschung am spannendsten, da sieht man einfach am meisten.« Wenn Josef Höffner nicht gerade auf Reisen ist, dann forscht er am Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik IAP in Kühlungsborn an der Ostsee. Auf einer Anhöhe stehen die Forschungsgebäude, über sanfte Hügel blickt man von oben auf das Meer.

28. Februar 2023 || Seite 2 | 12

Nachts leuchten Laserstrahlen über dem Institut am Himmel. »Die lokalen Zeitungen melden sich dann bei uns, weil die Leute UFOs vermuten«, erzählt Höffner amüsiert. »Dabei sind das nur unsere LIDAR-Systeme.« Mit ihren LIDAR- und Radar-Systemen forschen die Kühlungsborner seit Mitte der 1990er Jahre, inzwischen mit mehreren Teams.

Wird es mit der Höhe immer kälter?

LIDAR-Systeme schicken ihre Strahlen durch die Atmosphäre bis in Höhen von über 100 km. Sie durchqueren dabei im Wesentlichen drei Schichten (Bild 2): Troposphäre (bis etwa 15 km Höhe), Stratosphäre (bis etwa 50 km) und Mesosphäre (bis etwa 90 km). Die Höhe der Schichten hängt vor allem von der Sonneneinstrahlung ab. Sie ändert sich aber auch mit der Jahreszeit oder der geographischen Lage.

Die Grenzen zwischen den Schichten werden durch ein verblüffendes Phänomen definiert: Unsere Erfahrung sagt uns, dass die Temperatur mit der Höhe abnimmt. Zwischen den Schichten kehrt sich das allerdings wieder um, in der Stratosphäre steigt die Temperatur mit der Höhe! Zwischen Strato- und Mesosphäre kehrt sich der Temperaturgradient noch einmal um, es wird wieder kälter. Die Schichten, in denen sich der Temperaturgradient umkehrt, heißen Pause, also Tropopause, Stratopause und Mesopause.

Josef Höffner interessiert sich vor allem für die oberste Schicht, die Mesosphäre. Der Luftdruck an deren oberem Ende liegt bei etwa einem Millionstel dessen, was Menschen gewohnt sind. Dennoch gibt es in der Höhe noch reichlich Teilchen: »Das ist die Höhe, wo die Nase der Space-Shuttles beim Wiedereintritt zu glühen beginnt.« Das Gleiche gilt für Meteoriten: Viele von ihnen verglühen in der Mesosphäre und hinterlassen dort Metallatome, die den Atmosphärenphysikern enorm bei der Arbeit helfen.

»Mit dem LIDAR-Laser regen wir diese Atome in der Atmosphäre an, zum Beispiel Kalium oder Eisen«, erklärt Höffner. Die Teilchen werfen das Licht zurück, allerdings leicht verändert; der Physiker spricht von Streueffekten. Das rückgestreute Licht wird mit Teleskopen im LIDAR-System auf der Erde eingefangen. Aus den Spektren lassen sich Größen wie Temperatur und Windgeschwindigkeit ableiten. Die Laufzeit der

Laserpulse ergibt die Höhe, die Anzahl der speziellen Photonen die Konzentration der Teilchen in der Höhe.

28. Februar 2023 || Seite 3 | 12

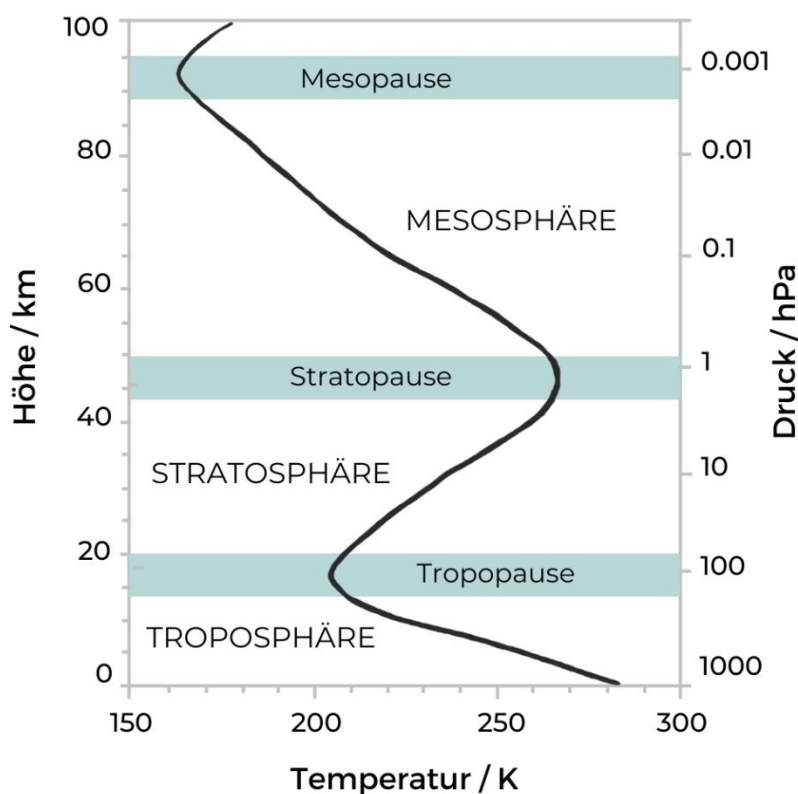


Bild 2: Schema für die Schichtung der Atmosphäre und den Temperaturverlauf.
 © Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik IAP.

Was passiert im Ozean über uns?

Damit ist das Handwerkszeug der Atmosphärenphysik grob erklärt, doch was gibt es da oben zu messen? »Viel«, antwortet Höffner knapp, »und wir entdecken immer mehr.« Um die Vorgänge ‚da oben‘ besser zu verstehen, kann man sich die Atmosphäre als einen Ozean vorstellen. Wie im Meer gibt es dort Wellen, Strömungen und Gezeiten. Nichts davon verschwindet einfach – jede Welle stößt wieder eine Welle an, führt zu Strömungen, alles ist Tag und Nacht in Bewegung. Die Grenzen zwischen den

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

Schichten heben und senken sich, und die Schichten beeinflussen einander. Weswegen die LIDAR-Messungen sehr wertvoll sind für Klimamodelle und Wetterberichte.

28. Februar 2023 || Seite 4 | 12

Anders als im Meer werden die Gezeiten am Himmel von der Sonne hervorgerufen: Sie erwärmt die Luft auf der einen Seite der Erde, die Luft steigt auf, während sie auf der anderen Seite abkühlt und absinkt. Strömungen und Wellen gibt es genauso: Sogenannte Schwerewellen sind besonders wichtig für den Austausch zwischen der unteren und oberen Atmosphäre. Sie entstehen, wenn zum Beispiel ein Sturm auf eine Gebirgskette prallt. Die Luft drückt dort nach oben, der Impuls setzt sich weit über die Troposphäre bis in die Mesosphäre fort. Dort schiebt der Impuls von unten Strömungen an, die über Tausende von Kilometern messbar sind.

Mit LIDAR- und Radar-Systemen können die Teams am Boden Bewegungen in der Atmosphäre genau messen. Ballons kommen nicht so hoch, Satelliten liefern im Überflug nur eine Momentaufnahme. Die stationären LIDAR-Systeme können praktisch unbegrenzt die Strömungen entlang des Laserstrahls nach oben messen. In den neunziger Jahren hatte Josef Höffner dafür am Leibniz IAP ein LIDAR-System entwickelt, mit dem er um die Welt gereist ist.

Eine neue Lasergeneration als Gamechanger

Das System nahm einen Schiffscontainer ein. Der wog 10 Tonnen und benötigte im Betrieb 30 kW elektrische Leistung. Das wiederum erforderte tonnenweise Diesel in den Generatoren vor Ort. Immerhin war es das einzige, halbwegs mobile System seiner Art weltweit und hat entsprechend wissenschaftliche Meriten gesammelt. Für eine Zukunftsperspektive war es aber zu groß, zu schwer und zu wartungsintensiv.

Deshalb suchte Josef Höffner Mitte der 2000er Jahre neue Partner für die Laserentwicklung. Er fand sie am anderen Ende von Deutschland, am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen. Dort kannte man sich mit den verschiedenen Lasertypen aus und auch mit der neuesten Technik, um sie kleiner zu machen.

»Ein Alexandrit-Ringlaser, noch dazu mit Strahlung im UV, das war schon ziemlich speziell«, berichtet der aktuelle Aachener Projektleiter Michael Strotkamp. »Den konnten auch unsere Experten nicht einfach aus dem Regal nehmen.« Im Kern ging es darum, die Energiequelle des Lasers, die Blitzlampen, durch Laserdioden zu ersetzen. Eine Umstellung, die in etwa so einfach ist wie der Ersatz eines turbogeladenen Benzinmotors durch einen Elektromotor. Dementsprechend dauerte es zehn Jahre vom ersten Gespräch bis zur ersten erfolgreichen Mesosphärenmessung mit dem neuen diodengepumpten Alexandrit-Laser.

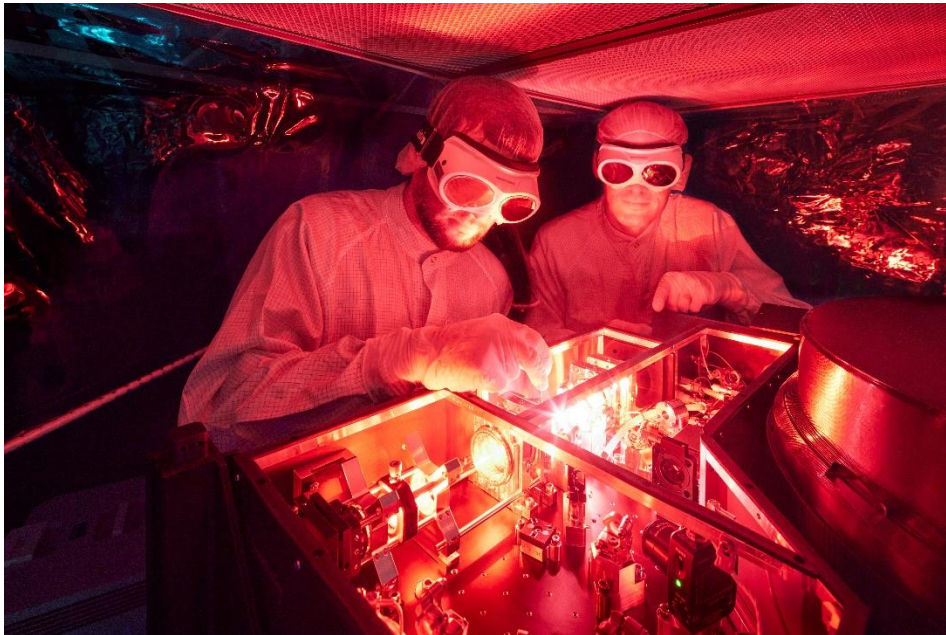


Bild 3: Die Alexandrit-Laser wurden im Labor so weit optimiert, dass sie in den LIDAR-Systemen über Tausende Stunden ohne Wartung oder Justierung arbeiten können.
© Fraunhofer ILT, Aachen / Ralf Baumgarten.

State-of-the-art Lasertechnik

Alexandrit ist ein sehr spezieller Laserkristall: Er kann über ein breites Spektrum von 730 bis 800 nm abgestimmt werden. Im Unterschied zu Titan-Saphir (ein noch bekannterer Laserkristall) kann er dabei aber auch reichlich Energie speichern. Wegen dieser Eigenschaften eignet er sich besonders für hohe Pulsenergien.

Allerdings muss er für die LIDAR-Messungen extrem schmalbandig betrieben werden. Das heißt, nur eine räumlich schmale Mode darf im Kristall gepumpt werden, sonst schwingen höhere Moden an, der Laser würde spektral breitbandiger. Das war eines der Hauptprobleme bei der Verwendung von Blitzlampen – die haben meist mehrere Moden angeregt. Auch die thermo-optischen Eigenschaften sind nicht ohne, Alexandrit wurde oft bei deutlich über 100 Grad betrieben. »Ich hatte noch nie einen so anspruchsvollen Laserkristall«, fasst Michael Strotkamp zusammen. »Mit den Dioden konnten wir direkt das Modenvolumen pumpen, das hat viele Probleme gelöst.«



Bild 4: Im November 2022 haben die Teams vom Fraunhofer ILT und dem Leibniz IAP in ein weiteres der vier LIDAR-Systeme einen neuen Laser eingebaut.
© Fraunhofer ILT, Aachen / Ralf Baumgarten.

Alexandrit absorbiert Licht bis in den roten Bereich, weshalb Pumpdioden bei einer Wellenlänge von 638 nm eingesetzt werden. Am Anfang waren das Barren mit 80 W Pulsspitzenleistung, deren Strahlprofil für die ersten Prototypen aufwendig homogenisiert werden musste. Inzwischen nutzen die Aachener fasergekoppelte Pumpdioden, was das Einkoppeln der Pumpstrahlung erheblich vereinfacht.

Der Laser (Bild 5) ist als Ringresonator konzipiert, es gibt also keine stehende, sondern eine umlaufende Laserwelle. Die wird mit einem frequenzstabilisiertem cw-Laser (seed) angeregt. Dafür wird ein Resonatorspiegel mit einem Piezoelement zum Schwingen gebracht. Immer dann, wenn die Resonatorlänge genau einem Vielfachen der Wellenlänge des Seed-Lasers entspricht, wird der in den Resonator eingekoppelt. Das Prinzip heißt auch „ramp-and-fire“. Ausgekoppelt wird über einen Güteschalter, der den umlaufenden Puls herauslässt, wenn seine Energie groß genug ist.

Der erste Prototyp des Alexandritlasers lieferte 0,15 W, damals mit zwei Kristallen aber ohne Homogenisierung der Pumpstrahlung. Mit homogenisierter Pumpstrahlung lieferte der Laser mehr Leistung aus nur einem Kristall. Seitdem wurde das System über mehrere Iterationen erheblich verbessert. Um Platz zu sparen, ist der Strahlengang (2 m Resonatorlänge) mehrfach gefaltet. Die Pumpstrahlung wird inzwischen nur noch über

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

Fasern zugeführt, wodurch die Pumpquelle ohne großen Aufwand getauscht werden kann. Die neueste Pumpquelle liefert 400 Watt im Pumpimpuls, der Laser wird dann mit einer Ausgangsleistung von 2,3 W bzw. Pulsen von 4,6 mJ bei 500 Hz betrieben. Bei 750 Hz Repetitionsrate läuft er sogar mit 2,7 W und 3,6 mJ Pulsen.

28. Februar 2023 || Seite 7 | 12

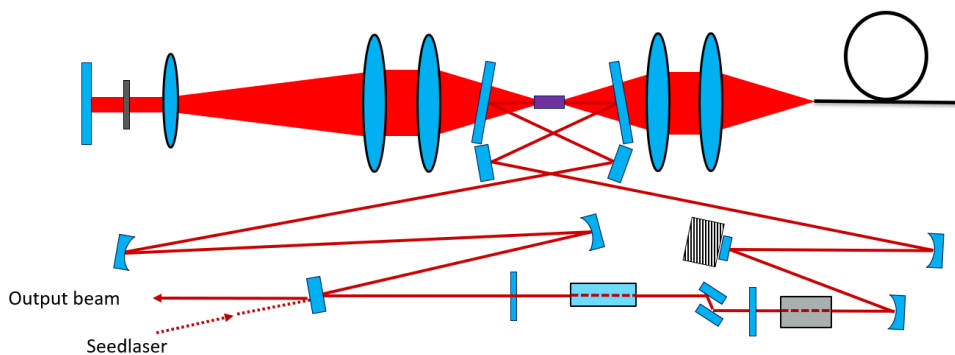


Bild 5: Der Alexandritlaser ist stark gefaltet und wird mit einer fasergekoppelten Quelle (rechts) gepumpt. Links ‚recycled‘ ein Spiegel die verbliebene Pumpstrahlung.

© Fraunhofer ILT, Aachen.

Die Geheimnisse des „Sternenstaubs“

Wenn Meteoriten in der Mesosphäre verglühen, bleiben einzelne Atome zurück und schweben über viele Jahre dort oben. »Für die Atomsphärenphysik ist das ein absoluter Glücksfall, denn außer diesem ‚Sternenstaub‘ ist da oben nicht mehr viel«, erklärt Josef Höffner.

Für die LIDAR-Messungen werden verschiedene Atome oder Aerosole der Atmosphäre von der Erde mit dem Laser angestrahlt und streuen einzelne Photonen zurück. Bei den Messungen mit dem Alexandrit-LIDAR am Leibniz IAP werden im Wesentlichen drei Effekte genutzt: Rayleigh-, Mie- und Resonanzstreuung.

Die Rayleigh-Streuung ist der Grund, warum unser Himmel blau ist. Sie beschreibt, wie Licht an Teilchen gestreut wird, die kleiner sind als seine Wellenlänge. Die Streuung ist stark frequenzabhängig, deswegen wird blaues Licht stärker gestreut als rotes. Deshalb sind Sonnenuntergänge rot und der Himmel blau. Über etwa 60 km Höhe wird die Dichte der Sauerstoff- und Stickstoffatome so klein, dass die Rayleigh-Streuung schwierig zu messen ist.

Die Mie-Streuung beschreibt die Auswirkungen auf das Licht, wenn es an Teilchen gestreut wird, die eine Größe ähnlich der Wellenlänge haben. In der Atmosphäre sind

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

das meist Aerosole, also Staub oder zum Beispiel Vulkanasche. Solche Teilchen kommen bis etwa 30 km Höhe vor.

28. Februar 2023 || Seite 8 | 12

Je nach Fluggeschwindigkeit der Teilchen werden die Rayleigh- und Mie-Spektren durch den Dopplereffekt verschoben. Der Vergleich solcher rückgestreuter Spektren mit dem Licht der LIDAR-Quelle ergibt die Geschwindigkeit der Teilchen. Genauer gesagt liefert die spektrale Verschiebung eine vektorielle Komponente der Windgeschwindigkeit in Richtung des Laserstrahls. Deswegen wird im neuen LIDAR-System mit Strahlen in fünf Richtungen gemessen. So lässt sich der Wind auch in großen Höhen gut bestimmen.

Die eigentliche Höhe ergibt sich aus der Laufzeit der Laserstrahlen, für 90 km brauchen sie 0,3 Millisekunden. Damit sich jeder Puls komplett auswerten lässt, bevor der nächste folgt, arbeitet das System mit einer Laser-Pulsfolge des Lasers von weniger als 1.000 Hz.

Wie misst man die Temperatur einzelner Atome in 90 km Höhe?

Die größte Herausforderung für die Laserbauer ist aber die Resonanzstreuung. Sie ist der einzige Streueffekt, mit dem man auch in Höhen bis über 90 km noch Wind und Temperatur messen kann. Für die Temperatur wird am rückgestreuten Licht gemessen, wie sehr sich das Spektrum verbreitert hat. Dafür werden einzelne Atome des „Sternenstaubs“ mit ihrer charakteristischen Wellenlänge angeregt. Ein Elektron geht ein Niveau höher und fällt zurück. Dabei gibt es ein Photon derselben Wellenlänge wieder ab. Allerdings schwirren die Atome entsprechend ihrer Temperatur hin und her, was wiederum zu einer winzigen Dopplerverschiebung des emittierten Photons führt. Auf der Erde kommen viele dieser Photonen an, ihre unterschiedlichen Verschiebungen ergeben eine sehr geringe Verbreiterung des Spektrums im Vergleich zur ursprünglichen Laserstrahlung.

»Wir messen diese Verbreiterung über den Vergleich mit einer Gaszelle hier am Boden«, beschreibt Atmosphärenphysiker Josef Höffner vom Leibniz IAP das Verfahren. In einer nur daumengroßen Vakuumzelle im LIDAR-System wird zum Beispiel Kalium verdampft. Auf dessen Spektrum wird der Seed-Laser abgestimmt. Seine Linienbreite ist etwa 100 kHz, nach Verstärkung im Alexandrit-Laser sind es immer noch 3 MHz. Eine derart genaue Abstimmung ist sonst eher bei Quantencomputern üblich.

»Wenn wir Eisen messen, dann nehmen wir keine Gaszelle. Wir stimmen den Laser gleich auf das Resonanzsignal der Atome in der Atmosphäre ab.« Einen Laser auf das Signal einzelner Atome in 90 km Entfernung ultrapräzise abzustimmen – das ist auch für erfahrene Laserphysiker eine extreme Herausforderung. Das Team aus Aachen und Kühlungsborn hat sie bewältigt. Die komplexen Filtersysteme zur Auswertung der

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

Daten sind so gut, dass sie die wenigen Photonen sogar bei Tageslicht aus dem Rauschen filtern können.

28. Februar 2023 || Seite 9 | 12



Bild 6: Das mobile LIDAR-System sendet fünf Strahlen in den Nachthimmel. Mit vier kleinen und einem großen Teleskop detektiert es die Photonen aus bis zu 100 km Höhe und liefert Klimadaten in Echtzeit. © Fraunhofer ILT, Aachen / Ralf Baumgarten.

Wie geht es weiter mit den LIDAR-Systemen?

Im Mai und November 2022 wurde die neueste Lasergeneration in zwei der LIDAR-Systeme in Kühlungsborn installiert und bereits Messungen bis in 100 km Höhe demonstriert. Die Basis dafür ist ein ständig wachsendes Team. Die Arbeiten in Aachen und Kühlungsborn wurden im Projekt VAHCOLI (Vertical And Horizontal COverage by Lidar) gefördert. Im Mittelpunkt steht die Erforschung der Atmosphäre in vertikaler und horizontaler Richtung. Das wird durch vier um 30° gekippte Laser und Teleskope (Bild 7) erreicht. Mit vier solchen LIDAR-Systemen im Netzwerk lassen sich Flächen mit mehreren 10.000 km² am Himmel vermessen. Das ist dann das mit Abstand modernste und leistungsfähigste LIDAR-System für die mittlere Atmosphäre weltweit.

»Wir haben natürlich mehrere Ideen, wie wir die Technik weiterentwickeln wollen«, erklärt Josef Höffner. »So wollen wir mit Partnern aus dem Umland die LIDAR-Systeme in die Industrie überführen.« Das Projekt mit insgesamt 10 Partnern startet im Juni

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

2023 im Rahmen des RUBIN-Förderprogramms. »Wir wollen davon unabhängig eine Verstärkerstufe für den Alexandrit-Laser entwickeln«, ergänzt Laserexperte Strotkamp.

28. Februar 2023 || Seite 10 | 12

Die wissenschaftliche Arbeit wird ab Januar 2023 im Projekt EULIAA (EUropean LIdar Array for Atmospheric climate monitoring) vorangetrieben. Die Laserentwickler haben sich das Thema UV vorgenommen: »Wir wollen eine Intra-cavity-Verdopplung installieren«, so Strotkamp. Gemeint ist damit der Einbau eines Kristalls, der im Laserresonator die Laserstrahlung zu einer Wellenlänge von 386 nm konvertiert. Damit nutzt man eine Fraunhoferlinie mit geringem solarem Hintergrund und es können dann auch Eisen-Atome vermessen werden. Das ging bisher nur recht aufwendig mit einer viel ineffizienteren externen Frequenzverdopplung. Erste Tests sind bereits vielversprechend.

Außerdem werden 2023 zwei neue LIDAR-Systeme aufgebaut. Bei sieben Partnern in fünf Ländern sollen sie für eine neue Qualität beim Erfassen von Klimadaten im Bereich oberhalb von 10 km, für den derzeit keine Daten verfügbar sind, sorgen. »Das Ziel ist die Integration der LIDAR-Daten in europäische Datenbanken – in Echtzeit«, erklärt Höffner.

»Der nächste Schritt wäre dann der Aufbau eines europäischen Netzwerks für diese Messungen.« Die Daten stehen dann für Wetterberichte und Klimamodelle zur Verfügung, denn solche LIDAR-Systeme können in Echtzeit die Wind- und Temperaturverteilung in 10 bis über 50 km Höhe messen - Tag und Nacht. Auch für Raketenstarts liefert das System die relevanten Daten. Langfristig ist auch eine satellitenbasierte Version des LIDARs denkbar. In Projekten wie der MERLIN-Mission haben die Aachener Partner sich reichlich Know-How für satellitenbasierte Laser erarbeitet.

Wie wichtig die Arbeit ist, zeigt die Erforschung des Klimawandels in der mittleren, bisher wenig erforschten Atmosphäre. »Wir sehen erhebliche Veränderungen in der Mesosphäre«, erklärt Höffner. »Mit den neuen Systemen wollen wir die Veränderungen kontinuierlich und über weite Flächen beobachten. Das wird längerfristige Klimaprognosen erheblich beeinflussen.« Der Himmel wird für ihn ein spannendes Forschungsfeld bleiben: Ein geheimnisvoller Ozean mit Wirbeln und Wellen – aber wesentlich weniger weißen Flecken.

Fraunhofer ILT auf der LASER World of PHOTONICS

Auf der Photonik-Weltleitmesse LASER World of PHOTONICS in München wird der Prototyp des Alexandritlasers ausgestellt, der die Konversion von (infra)rot nach (ultra)violett veranschaulicht. Vom 27. bis zum 30. Juni 2023 stehen Expertinnen und Experten des Fraunhofer ILT am Fraunhofer-Gemeinschaftsstand 441 in Halle A3 für

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

Auskünfte rund um das LIDAR-System und den wegweisenden Anwendungen dieser Technologien zur Verfügung.

.....
28. Februar 2023 || Seite 11 | 12
.....

Förderhinweis

Das Projekt EULIAA wird unter der Nummer 101086317 durch die Europäische Union im Rahmen des Horizon Europe Innovation Action Programms gefördert

Fachlicher Kontakt**Dr. rer. nat. Michael Strotkamp**

Gruppe NLO und abstimmbare Laser
Telefon +49 241 8906-132
michael.strotkamp@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Alexander Munk

Gruppe NLO und abstimmbare Laser
Telefon +49 241 8906-8016
alexander.munk@ilt.fraunhofer.de

Dr. rer. nat. Bernd Jungbluth

Gruppenleiter NLO und abstimmbare Laser
Telefon +49 241 8906-414
bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT
Steinbachstraße 15
52074 Aachen
www.ilt.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

Dr. Josef Höffner

Abteilung Optische Sondierungen und Höhenforschungsraketen
Telefon +49 38293 68-130
hoeffner@iap-kborn.de

Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik (IAP)
Schloßstraße 6
18225 Kühlungsborn

28. Februar 2023 || Seite 12 | 12

Die **Fraunhofer-Gesellschaft** mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Mit ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Als Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz wirkt sie mit an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft. Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 30 000 Mitarbeitende, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,9 Milliarden Euro. Davon fallen 2,5 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung.
