

LASER COMMUNITY.

Über Menschen und Photonen



Strahlen für die Zukunft

**Laserpulse erzeugen neue Arten von
Strahlen für Medizin und Industrie.
Diese Zweitstrahlquellen verändern alles.**

LASER COMMUNITY. #35

AUSGABE Herbst 2022 **HERAUSGEBER** TRUMPF SE + Co. KG, Johann-Maus-Straße 2, 71254 Ditzingen, Deutschland; www.trumpf.com

V.I.S.D.P. UND CHEFREDAKTION Gabriel Pankow, Telefon +49 7156 303-31559, gabriel.pankow@trumpf.com

VERTRIEB Telefon +49 7156 303-31559, gabriel.pankow@trumpf.com, www.trumpf.com/de_DE/unternehmen/presse/magazine

REDAKTION Die Magaziniker GmbH, Stuttgart, Florian Burkhardt, Martin Reinhardt

AUTOREN Benjamin Bauer, Florian Burkhardt, Thilo Horvatitsch, Dr. Mauritz Möller, Martin Reinhardt, Maria Seidenkranz, Julia Stolte

FOTOGRAFIE UND ILLUSTRATION Ackermann + Gruber, Dominik Asbach, Chandler Crowell, Stephanie Dierolf, Tadas Kazakevičius, Gernot Walter

GESTALTUNG UND PRODUKTION Die Magaziniker GmbH, Stuttgart, Gernot Walter (AD), Martin Reinhardt **ÜBERSETZUNG** Apostroph Group,

Hamburg **REPRODUKTION** Reprotechnik Herzog, Stuttgart **HERSTELLUNG** W. Kohlhammer Druckerei GmbH + Co. KG, Stuttgart



EDITORIAL



Aufbruch in ein neues Zeitalter

Jedes Jahr blicke ich gespannt auf die Verleihung des Physik-Nobelpreises. In diesem Herbst prämierte das Nobelkomitee das internationale Professoren-Trio Alain Aspect, John F. Clauser und Anton Zeilinger für ihre Forschung in der Quantenmechanik. Die Grundlagenforschung dieser drei brillanten Physiker dürfte vielen Menschen kaum verständlich sein. Und doch werden ihre Erfindungen unser Leben verändern. Eine wahre Meisterleistung! In der Begründung des Komitees heißt es: „Die Fähigkeit, Quantenzustände und all ihre Eigenschaften zu manipulieren und zu verwalten, verschafft uns Zugang zu Werkzeugen mit unerwartetem Potenzial.“ Gemeint sind superschnelle Quantencomputer, abhörsichere Quantenkommunikation sowie Quantensensorik. Ich bin überzeugt: Quantentechnologie sorgt für ein neues industrielles Zeitalter – ein Zeitalter, in dem die Photonik eine Hauptrolle spielen wird.

Es zeigt sich einmal mehr: Die beste Zeit des Lasers liegt noch vor uns. Das gilt nicht nur für Quantentechnologie, sondern insbesondere auch für Sekundärstrahlen – sprich: mit dem Laser beschossene Materie, die ihrerseits wiederum neues, nutzbares Licht absondert. Mit dem Laser erzeugen Wissenschaftler bereits heute jede Menge neue Arten von Strahlen, wie Sie in unserer Titelstory ab Seite 12 lesen können. Das Prinzip „Laser als Zweitstrahlquelle“ lässt sich mit einem Billardspiel vergleichen. Um die roten, grünen oder blauen Kugeln einzulochen, brauchen Sie die weiße Kugel. Die muss in einem perfekten Winkel und der richtigen Geschwindigkeit auf eine der bunten Kugeln treffen. Der Laser ist hier die weiße Kugel, die rollende bunte Kugel steht für die Strahlen aus Elektronen, Protonen oder Neutronen. Und diese Sekundärstrahlen haben das Potenzial, Forschung, Medizin und Industrie zu revolutionieren. Das sanfte Zerstören von Tumoren durch lasergenerierte Elektronen- oder Protonenstrahlen könnte zum Beispiel die Krebstherapie entscheidend voranbringen. Sekundärstrahlquellen verschaffen uns aber auch einen neuen Zugang zur Welt. Batteriehersteller etwa können zur Qualitätskontrolle von E-Autobatterien Elektronenstrahlen erzeugen und damit Elektrolyt beim Einfüllen in die Batteriezelle beobachten – fast wie in einem HD-Film. Im Zusammenspiel mit der entsprechenden Software lässt sich dadurch sogar die Lebensdauer der Batteriezelle bestimmen. Wie das funktioniert, lesen Sie auf Seite 16.

TRUMPF geht wie immer auch bei diesem Thema voran. Der weltweit erste kommerzielle Durchbruch des Prinzips „Sekundärstrahlquellen“ gelang uns 2017. Seitdem nutzen wir die Belichtung von Halbleiterstrukturen auf Wafern mit EUV – Extrem ultravioletter Strahlung – auch industriell. Heute sind Hochleistungslasersysteme für die EUV-Lithografie ein wichtiges Geschäftsfeld für uns.

Überall auf der Welt verschieben schlaue Köpfe jeden Tag aufs Neue die Grenzen der Physik. Bleiben wir gespannt, wer in den kommenden Jahren den Nobelpreis für Physik erhält. Die Magie der Physik können Sie auch in dieser Ausgabe der Laser Community entdecken. Dabei wünsche ich Ihnen, liebe Leser, viel Spaß.

DR.-ING. CHRISTIAN SCHMITZ

Chief Executive Officer Laser Technology

Mitglied des Vorstands der TRUMPF SE + Co. KG

christian.schmitz@trumpf.com

**Wham!**

Was das menschliche Auge nie sehen wird, lässt sich schwer in Bilder fassen. Also haben wir einfach den KI-gestützten Text-Bild-Generator DALL-E gefragt, wie er sich Folgendes vorstellt: „Laserstrahl-überschreitet-Schwelle-und-wird-zu-Partikelstrahl“. Das hat er uns gezeigt: **Seite 1.**

**Wuff!**

Dass ein Hund in der Firma die Stimmung hebt, ist längst Stand der Arbeitsforschung. Bei Alpine Laser in Minnesota übernimmt Hündin Emma diesen Job. Hier bewacht sie gerade einen TruMicro. Was ihr Herrchen derweil macht, lesen Sie auf **Seite 6.**

**Wow!**

Wie entsteht ein Protonenstrahl? Was fängt man mit Neutronen an? Stephanie Dierolf zeigt es uns mit leichter Hand und ganz viel Farbe. Eigentlich hatte Stephanie gar keine Zeit für uns, aber das wollte sie sich dann doch nicht entgehen lassen. Ihre hübschen Bilder sehen Sie ab **Seite 12.**

DALL-E/Florian Burkhardt, Stephanie Dierolf, Ackermann + Gruber | Fotogloria

LASER COMMUNITY.

THEMA

12 DAS ZEITALTER DER STRAHLEN

Brücken durchleuchten, riesige 3D-Bauteile zerstörungsfrei kontrollieren, die Lebensdauer von Batteriechargen prognostizieren – alles kein Problem mehr mit den neuen lasergenerierten Teilchenstrahlen.

**20 WELTALLTRIEBWERK**

Agile Space Industries, Stephanie Dierolf

Ackermann + Gruber | Fotogloria, TRUMPF, Tadas Kazakevicius | Fotogloria

6 Neustart für Stents

Lebensrettende Stents für Herzpatienten sind ein knappes Gut. Ein Start-up aus Minnesota will das ändern.

10 POWER

Die neue europäische Marsmission sucht Spuren von Leben. Mit dabei: ein ultrarobuster Mini-Laser.

11 GLORY

Erster Laserchirurg und Vater der Mikrostrahlen – Michael Berns hat viele Namen.

18 AHEAD

Forscherin Andrea Lanfermann zückt das Femtoschwert und sagt Mikroplastik den Kampf an.

20 Darauf fliegt die Raumfahrt!

Agile Space nennt sich stolz den „Marktführer für Mondlandungen“. Den nötigen Schub verleihen ihnen ihre 3D-Druckmaschinen.

23 Wunderstoff!

3D-Druck bringt amorphe Metalle in Form – und ihren Durchbruch vom Maschinenbau bis zur Unterhaltungselektronik.

24 Aluminium endlich dichtgeschweißt

Lange sind alle daran verzweifelt, doch jetzt ist es ganz einfach: mit vier Fokussen statt einem.

26 „Manchmal ist es ein Vorteil, klein zu sein.“

Gediminas Račiukaitis kennt die litauische Laserlandschaft wie kein Zweiter. Darum kann er auch erklären, woher ihre erstaunliche Stärke kommt.

30 LASERLAND

So lasert Thailand.

31 WO STECKT DER LASER?

Im starken Rücken.

**6 MIKRO-START-UP****23 AMORPHE METALLE****26 LITAUEN & LASER**

„Die etablierten Hersteller können mit der wachsenden Nachfrage nach Stents nicht mehr mithalten. Wir haben die Lösung.“



Mit dem Laserlichtkabel für ultrakurze Pulse hält Start-up-Mitgründer Joe Kempf seine Maschinen so kompakt und modular wie kein anderer seiner Branche.

Ackermann + Gruber | Fotografin, Gernot Walter

NEUSTART FÜR STENTS

Stents retten Leben. Die flexiblen lasergeschnittenen Röhrcen weiten Blut- und Nervenbahnen, und die Nachfrage nach ihnen boomt. Doch das Angebot hechelt hinterher. Genau der richtige Moment, um mit einem disruptiven Start-up die Herstellung zu revolutionieren.



Joe Kempf sitzt entspannt in seinem Drehstuhl im pragmatisch eingerichteten Besprechungszimmer und erklärt: „Das Team und ich haben Jahre damit verbracht, eine spezialisierte Laserschneidplattform für das Schneiden medizinischer Rohre zu entwickeln. Wir haben jeden einzelnen Aspekt der Arbeitsstation optimiert, um die Maschine so effizient und schnell wie möglich zu machen. Und wir haben die Lücken in Technik und Nutzerfreundlichkeit geschlossen, die andere Maschinen haben.“ Der, der da den Mund ganz schön voll nimmt, ist gelernter Ingenieur und Mitgründer des Start-ups Alpine Laser. 2019 hat er seinen festen Job in der Medizintechnikbranche gekündigt, seine Ersparnisse zusammengekratzt und gemeinsam mit einem Partner auf eine Karte gesetzt – Alpine Laser.

NADELÖHR PRODUKTIONSKAPAZITÄT
Was schlau ist: Kempf will Mikrobearbeitungs-Maschinen bauen und sie an die Produzenten von Stents und ähnlichen Röhrcen verkaufen. Die winzigen, elastischen Drahtgeflechschläuche setzen Ärzte in verengte

Blut- und Nervenbahnen ein, um die Gefäße offen zu halten. In Industrieländern mit rasch alternder Bevölkerung ist das einer von vielen minimalinvasiven operativen Eingriffen, die immer häufiger vorkommen und risikoreichere Methoden ersetzen: Typische Zivilisationskrankheiten wie Herzinfarkte oder Schlaganfälle bekommen Mediziner so besser in den Griff. Allein in den USA erhalten Patienten jährlich über zwei Millionen Stents, Tendenz steigend. Und ständig entwickeln Ärzte neue Therapien, für die sie lasergeschnittene röhrenförmige Komponenten brauchen.

Was schwierig ist: Kempf will Mikrobearbeitungs-Maschinen bauen und sie an die Produzenten von Stents verkaufen. Denn der Einstieg in den Markt für Medizintechnik wird weltweit durch Aufsichtsbehörden streng kontrolliert. Das ist verständlich, hat aber zur Folge, dass die großen Hersteller von Stentschneidmaschinen den Markt unter sich aufteilen. „Inzwischen können die etablierten Hersteller mit der steigenden Nachfrage nach Stents nicht mehr mithalten, wodurch ein Engpass entstanden ist“, erklärt Kempf. →

In Wirklichkeit nur zweieinhalb Millimeter Durchmesser und absolut lebensrettend: Zwei Millionen US-Amerikaner erhalten jedes Jahr einen solchen teilelastischen Stent.



SCHNELLER, KLEINER Kempf kennt die Branche. Sein Team weiß, was funktioniert und was nicht, und was die Maschinen leisten müssen. Im Laufe der letzten 18 Monate haben sie ihr Laserschneidesystem mit fast allen anderen Systemen auf dem Markt verglichen. Bei der Konstruktion solcher Maschinen geht es immer um einen entscheidenden Kompromiss: Einerseits soll die Maschine leicht skalierbar sein und dadurch eine kostengünstige Fertigung ermöglichen, andererseits muss sie in hohem Maße auf die individuellen Anforderungen der Benutzer konfigurierbar sein. Kempf: „Wir erkannten, dass nur ein modularer Aufbau der Anlage beide Ziele versöhnt.“ Also entwirft das Team von Alpine Laser ein System, das die anspruchsvollen Bauteile zwei- bis fünfmal schneller mikrobearbeitet als herkömmliche Maschinen. Ein Grund dafür ist: Dank hochflexibler Werkzeuge dauert das Einrichten der Teilehalterung und das Ausrichten der Optiken weniger als fünf Minuten. Das ist deutlich schneller als alle bisherigen Systeme – und das auf einer Grundfläche von nur 1,2 auf 0,7 Metern. So klein ist keine andere Stent-Maschine.

Natürlich ist die Maschine mit einem Ultrakurzpuls-Laser (UKP) erhältlich: Ohne Femtosekundenlaser wären die geforderten glatten Kanten und winzigen Verstrebungen bei Rohren mit einem Durchmesser von 0,25 Millimetern und einer Wandstärke von nur 0,5 Millimetern nicht zu erreichen. Doch wie Kempf erklärt, sind UKP-Laser nicht dafür bekannt, besonders flexibel zu sein: „Das hätte zu Problemen mit unserer Strategie führen können, eine modulare Plattform zu entwickeln, bei der wir einen Großteil der gemeinsamen Systemkomponenten über alle Maschinenkonfigurationen hinweg verwenden können; dazu gehören sowohl UKP-Laser als auch gepulste CW-Faserlaser.“

EIN KABELGEFÜHRTER UKP-LASER Dann entdeckt Kempf, dass TRUMPF am weltweit ersten kabelgeführten UKP-Laser arbeitet. „Uns war sofort klar, dass dies der Schlüssel zu einem modularen Aufbau ist.“ Das neue Laserlichtkabel besteht aus einer Hohlkernfaser. Diese überträgt die UKP-Laserpulse ohne Stabi-

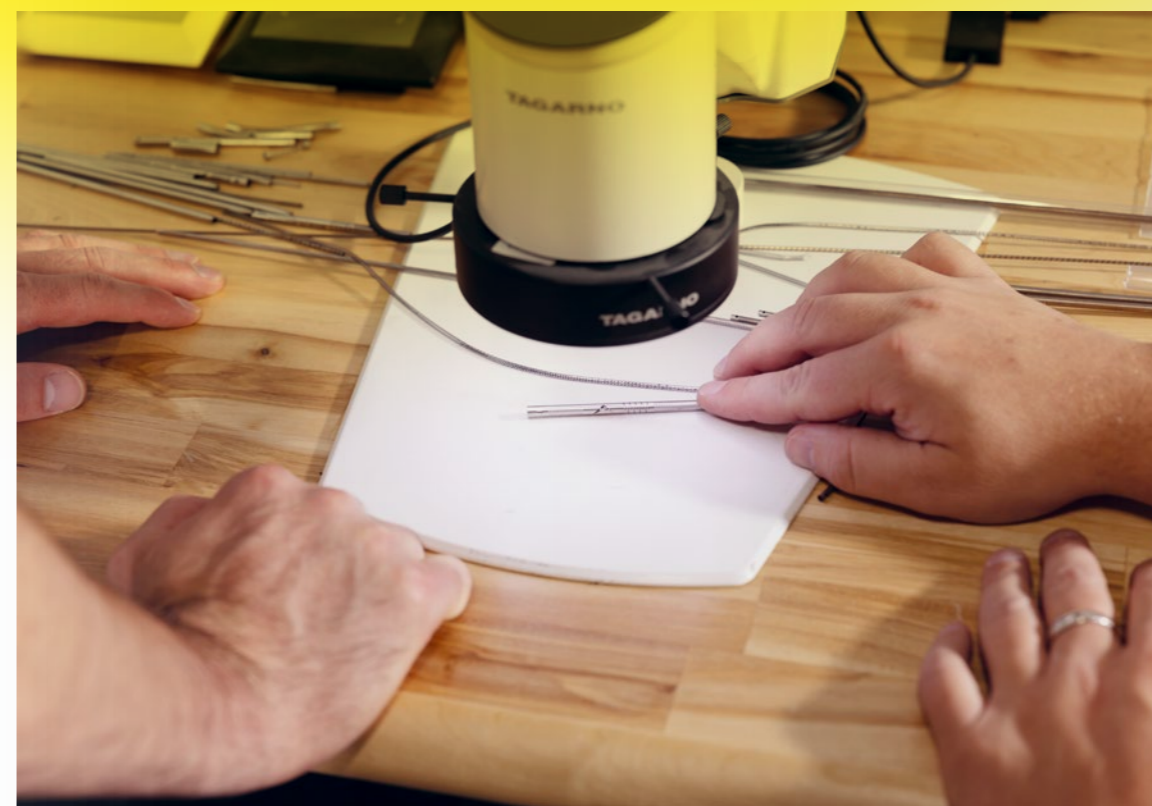
litätsverlust von A nach B. „So können wir die Laserquelle von der Schneidoptik trennen, ohne eine sperrige Laserkopfeinheit in der Nähe des Bearbeitungsbereichs montieren zu müssen“, sagt Kempf. „Das macht die Maschine deutlich kompakter und ermöglicht es uns, unser Maschinendesign sowohl für UKP- als auch für Faserlaser zu standardisieren.“

Alpine Laser nimmt Kontakt zu TRUMPF auf. Die beiden Unternehmen arbeiten daraufhin gemeinsam an der Entwicklung des Medicut Pro von Alpine Laser – die weltweit erste Maschine, die einen UKP-Laser mit Hohlkernfaserzuführung für die Produktion im industriellen Maßstab einsetzt. Ein weiterer Vorteil ist die Strahlqualität, die der TruMicro liefert. „Ultrakurzpuls-Laser können so saubere Schnittkanten erzeugen, dass unsere Kunden Teile herstellen können, die in vielen Anwendungen keine Nachbearbeitung mit aggressiven Chemikalien mehr benötigen“, erklärt Kempf. „Damit entfällt ein wesentliches Hindernis für Gerätehersteller: Menschen wollen nicht mit gefährlichen Chemikalien arbeiten.“

ENDLICH MEHR STENTS Die Maschine ist fertig, und Alpine Laser hofft auf einen bescheidenen und stetigen Anstieg der Verkaufszahlen. Doch sie werden von der Nachfrage regelrecht überrollt. Bestärkt durch diese Erfahrung richtet Kempf nun sein Augenmerk auf neue UKP-Flachblechschneideanlagen für komplexe lasergeschnittene Kathetereinführungssysteme. Er sagt: „Wir sind der Meinung, dass unsere Arbeit noch lange nicht getan ist – wir fangen gerade erst an. Wir haben eine lange Liste von Produkten in der Pipeline, die von einer Überarbeitung profitieren könnten – durch eine Aktualisierung alter Industriedesigns mit neuen, fortschrittlicheren Technologien. Das Team von Alpine wird weiterhin die neuesten Technologien erforschen und implementieren, um sicherzustellen, dass unsere Maschinen auch in den kommenden Jahren das Marktangebot übertreffen.“ ■

Kontakt: Alpine Laser, Joe Kempf, Telefon: +1 651-353-4376, joe@alpinelaser.com

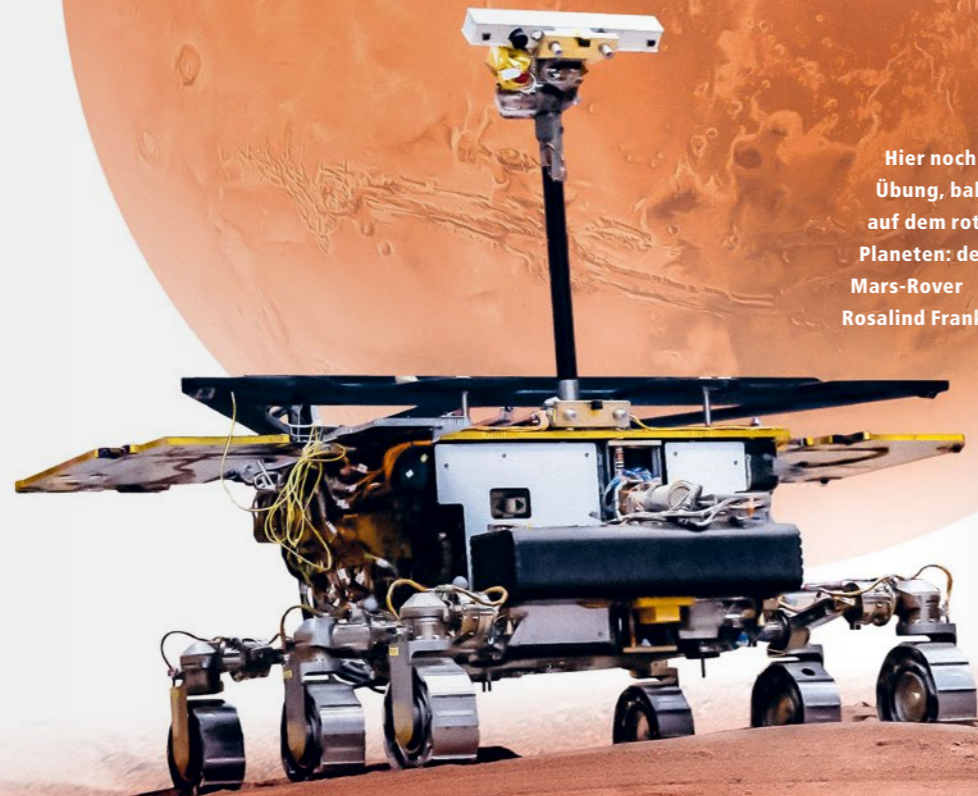
„Ultrakurzpuls-Laser erzeugen so saubere Schnittkanten, dass unsere Kunden Teile herstellen, die keine Nachbearbeitung mit aggressiven Chemikalien mehr benötigen.“



Oben: Joe Kempf und sein Team beim Aufbau der modularen Anlage zur Mikrobearbeitung.
Mitte: Die Werkzeuge zur Teilehalterung.
Unten: Inspektion eines Stents.

Gernot Walter

Ackermann + Gruber | Fotografin



Hier noch bei der Übung, bald schon auf dem roten Planeten: der Mars-Rover Rosalind Franklin.

LASER SUCHT LEBEN

Eine neue Marsmission will endlich klären, ob es Leben auf dem Nachbarplaneten gab. Der Schlüssel dafür ist ein extra robuster Mini-Festkörperlaser.



Der 50-Cent-große diodengepumpte Festkörperlaser hält extremen Bedingungen stand.

Vermutlich lebt heute auf dem roten Planeten nichts mehr – Trockenheit und harte Strahlung würden wohl selbst den widerpenstigsten Lebensformen den Garaus machen. Doch vor zwei bis drei Milliarden Jahren sah die Sache noch ganz anders aus: Auf dem Mars flossen und stauten sich die Wassermassen, es war warm und feucht. Gut möglich, dass sich damals – ähnlich wie zur selben Zeit auf der Erde – Lebensformen entwickelten, deren Überreste noch heute unter der Staubkruste begraben liegen. So weit die Theorie vieler Wissenschaftler. Nun zur Expedition.

Die Europäische Weltraumorganisation ESA will die uralten Marsfossilien nicht nur vermuten, sondern finden. Dazu schießt sie einen Bohrturm und ein komplettes Analyselabor auf den Nachbarplaneten. Alles in Form eines fahrbaren Rovers, zwei Meter hoch, zweieinhalb Meter breit und ein Fliegengewicht von gerade einmal 310 Kilogramm. Ein Bohrer wird zwei Meter tief in den Mars stoßen und Proben ins Innere des Rovers schaffen. Sodann untersuchen zahlreiche wissenschaftliche Instrumente die Brocken auf sogenannte Biomarker, Spuren von Leben. Eines dieser Instrumente ist ein Raman-Spektrometer, das Moleküle mittels eines grünen Laserstrahls analysiert: Das Laserlicht trifft auf das Gestein und wechselwirkt mit ihm. Das Spektrometer fängt die Rückstreuung ein und erkennt anhand der Veränderungen der Wellenlänge die molekulare Beschaffenheit des Materials.

Ein diodengepumpter Festkörperlaser speist den Strahl. Die Anforderungen sind knüppelhart: Der Laser darf eigentlich nichts wiegen, soll im Rover-Labor keinen Platz wegnehmen, fiese Weltraumstrahlen aushalten und in einer irrwitzigen Temperaturspanne von minus 130 bis plus 24 Grad Celsius zuverlässig funktionieren. Ach, und die immensen Erschütterungen beim Raketenstart und beim Aufprall auf dem Mars soll er bitte schön auch noch überstehen.

Forscher am Jenaer Fraunhofer-Institut IOF arbeiteten sieben Jahre, bis sie eine Lösung fanden. Inklusive Gehäuse ist das Lasermodul nun so groß wie ein 50-Cent-Stück und wiegt gerade mal 50 Gramm – bei einer Leistung von immerhin etwas mehr als 100 Milliwatt. Um den Winzling robust genug zu kriegen, griffen die Entwickler auf einen anderen Laser zurück: Alle Komponenten des hochempfindlichen Laserresonators und der Optiken wurden mit einer speziellen, laserbasierten Löttechnik miteinander verbaut. Diese Verbindungen halten auch üblen mechanischen und thermischen Strapazen stand.

Ursprünglich plante die ESA die ExoMars-Mission in Kooperation mit der russischen Weltraumbehörde Roskosmos für das Jahr 2022. Wegen der weltpolitischen Lage wurde diese Zusammenarbeit aufgekündigt und der Start vorerst auf 2024 verschoben. ■

Fraunhofer IIT, ESA, Gernot Walter

DER ERSTE LASERCHIRURG

Michael Berns hat den Laser in die Biologie und Medizin geholt. Nun erhielt er für sein Lebenswerk die Goldmedaille der Photonikgesellschaft SPIE.

„Es war 1966, und alles, was ich über Laser wusste, war: Goldfinger wollte James Bond damit in zwei Hälften schneiden“, beginnt Michael Berns eine Konferenzrede Mitte 2022. „Und dann erzählt mir einer meiner Professoren, dass das Institut einen kleinen Rubinlaser erworben habe, aber nicht wisse, was es damit tun solle.“ Berns hat da ein paar Ideen.

Der studierte Biologe aus Vermont erforscht, wie Laser mit Gewebe und Zellen interagieren, und begründet damit die Laserchirurgie. Er ist der erste Mensch, der per Laser einzelne Chromosomen manipuliert und subzelluläre Operationen durchführt, beispielsweise um Nervenzellen zu reparieren. Berns legt nicht nur die biomechanische Grundlage, sondern entwickelt auch Lasertherapien für Krankheiten an Haut, Augen und Blutgefäßen. Ende der 1970er gründet er das „Laser Microbeam Program“, das sich der Entwicklung laserchirurgischer Instrumente verschreibt. In der Szene kennt man Berns nun als Vater der Mikrostrahlen. Berns gründet in den folgenden Jahrzehnten weitere biomedizinische Institutionen, darunter

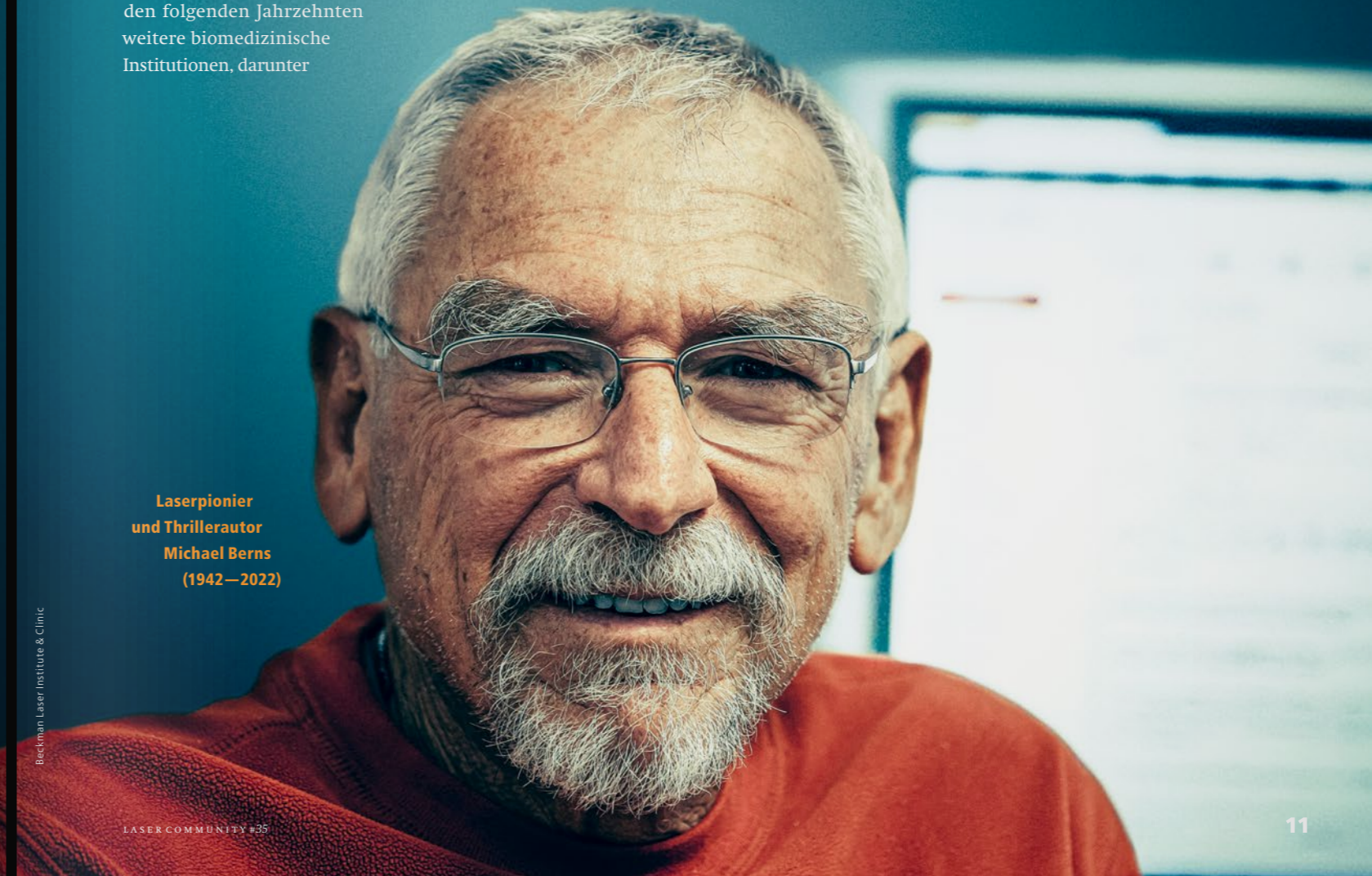
1982 das renommierte „Beckman Laser Institute and Medical Clinic“ in Kalifornien.

Doch die Wissenschaft ist nicht alles in Berns Leben. Er betätigt sich auch als Maler und Avocado-Farmer. Und als Berns 1979 für einen Vortrag an die Staatliche Universität Moskau reist, wird er erwischt, wie er im doppelten Boden seines Koffers jüdische Gebetsbücher in die Sowjetunion schmuggelt. KGB-Agenten verhören ihn zwölf Stunden lang. Berns erhält daraufhin ein lebenslanges Einreiseverbot. 2021, viele Jahre später, inspiriert ihn unter anderem dieser Vorfall dazu, sein erstes nicht-wissenschaftliches Buch zu schreiben: den Agententhriller „The Tinderbox Plot“.

2022 verkündet die internationale Gesellschaft für Optik und Photonik SPIE, dass sie Michael Berns mit ihrem höchsten Preis dafür auszeichnet, den Laser in die Biologie und Medizin gebracht zu haben. Wenige Tage vor der Preisverleihung stirbt Michael Berns im August 2022 im Alter von 79 Jahren. ■

Laserpionier und Thrillerautor Michael Berns (1942–2022)

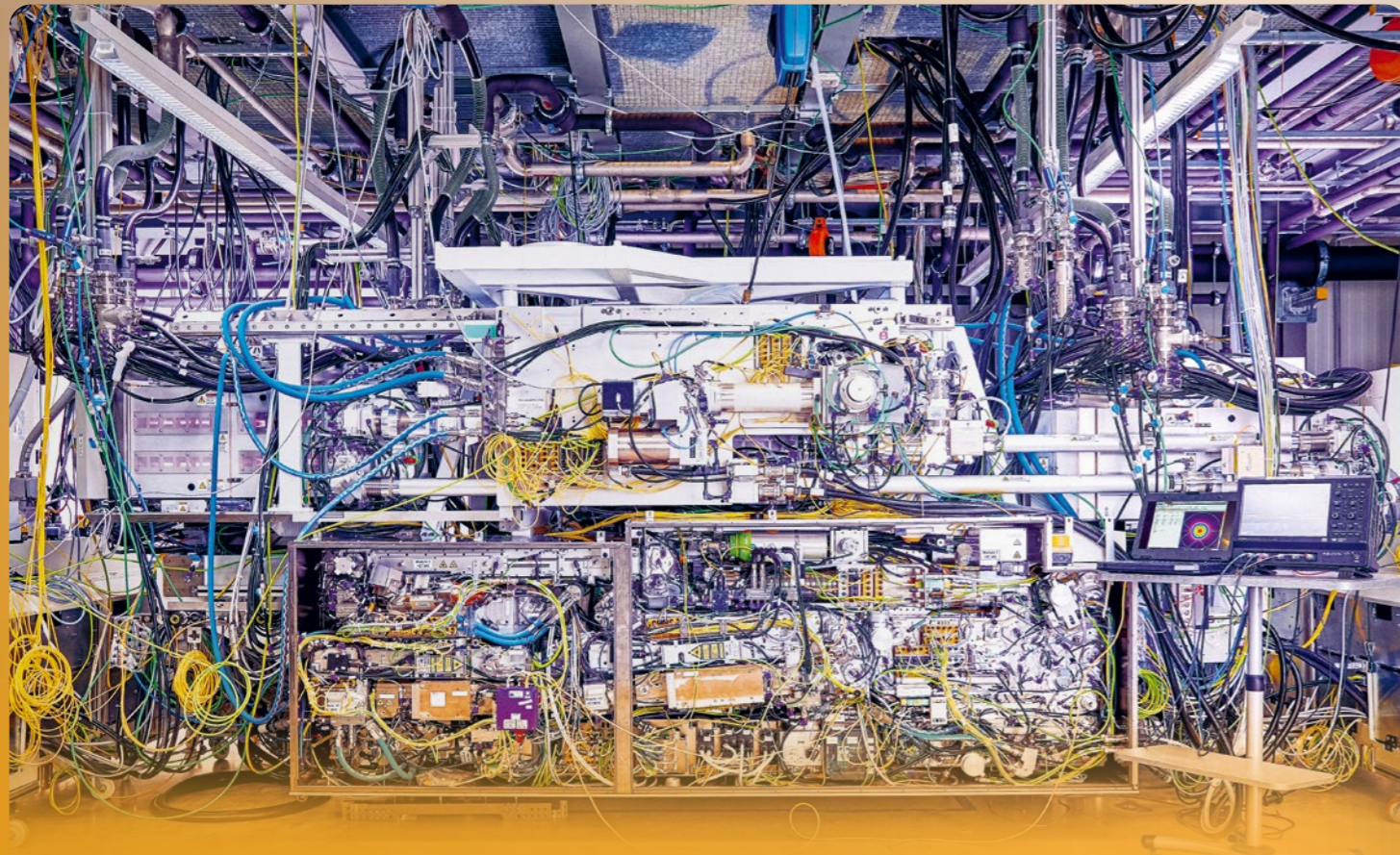
Beckman Laser Institute & Clinic





SECONDARY SOURCES

Beim Prinzip „Secondary Source“ erschaffen Laserpulse, die auf Materie treffen, eine andere, nachgelagerte Art nutzbarer Strahlung, zum Beispiel Licht aus dem Röntgenspektrum oder Teilchenstrahlen. Ahnherrin dieses Prinzips ist die Erschaffung von Extrem Ultravioletten (EUV) Lichts für die Mikrochipindustrie. Und so wie dieses Seed-Modul für die EUV-Anlage könnten in Zukunft auch die neuen Strahlengeneratoren aussehen.



TRUMPF

STRAHLENGENERATOREN

Eine neue Ultrakurzpuls-Technologie schenkt Industrie und Medizin hartes Röntgenlicht und hochenergetische Teilchenstrahlen. Das eröffnet einen ganzen Kosmos neuer Anwendungen.

DAS ZEITALTER DER STRAHLEN

S

Sie würden gerne eine Brücke durchleuchten, um zu schauen, ob der Beton im Inneren noch in Ordnung ist oder schon zerbröselt? Kein Problem – wozu gibt es schließlich Neutronenstrahlen! Alles, was Sie brauchen, ist 'ne Milliarde Euro für einen 100 Meter langen Protonenbeschleuniger und einen Nuklearreaktor für die anschließende Neutronengewinnung. Und das Ganze halt direkt an dem Brückenabschnitt, den Sie untersuchen möchten. Entweder das – oder Sie warten noch ein bisschen, bis lasergetriebene Teilchenbeschleuniger in großer Zahl zur Verfügung stehen, zum Preis von wenigen Millionen Euro. Die passen auf einen Lkw, und Sie können die ganze Brücke damit abfahren. Und dann zur nächsten Brücke.

Harte Röntgenstrahlen, Strahlen aus Elektronen, aus Protonen und – der neueste Hit – sogar aus Neutronen werden der Menschheit in den nächsten Jahren zur Verfügung stehen. Viel einfacher, viel öfter und viel billiger als bisher. Wissenschaftler und Ingenieure kalkulieren mit dem kommenden Strahlensegen und werfen ständig neue Ideen ein, wie er am besten zu nutzen sei (siehe Seiten 16 und 17). Diese Ideen haben das Potenzial, Medizin und Industrie zu revolutionieren. Doch was ist eigentlich passiert?

DER ULTRAKURZPULS-DURCHBRUCH Der Ultrakurzpuls laser (UKP) ist passiert. Bisher konnte man die Röntgen- und Partikelstrahlen für einen breiten Einsatz nur mit vergleichsweise geringen Teilchenenergien produzieren, zum Beispiel für einfache Röntgenbilder, Elektronenmikroskope oder das Elektronenstrahlschweißen. Wollte man hochenergetische Strahlen, musste man einen riesigen elektromagnetischen Aufwand betreiben. Beispiel Elektronenstrahl: Das bisherige Grundkonzept, Elektronen in einem starken, halbwegs geordneten Strahl anzuordnen und zu beschleunigen, sieht eine lange Röhre vor, entweder gerade oder in Ringform. Elektrische Magnete und Beschleunigungsstrecken um das Rohr schalten sich in schneller, genau abgestimmter Folge an und aus und bringen die Elektronen auf Zack. Eine 100 Meter lange Strecke sollte es schon sein, damit die Elektronen

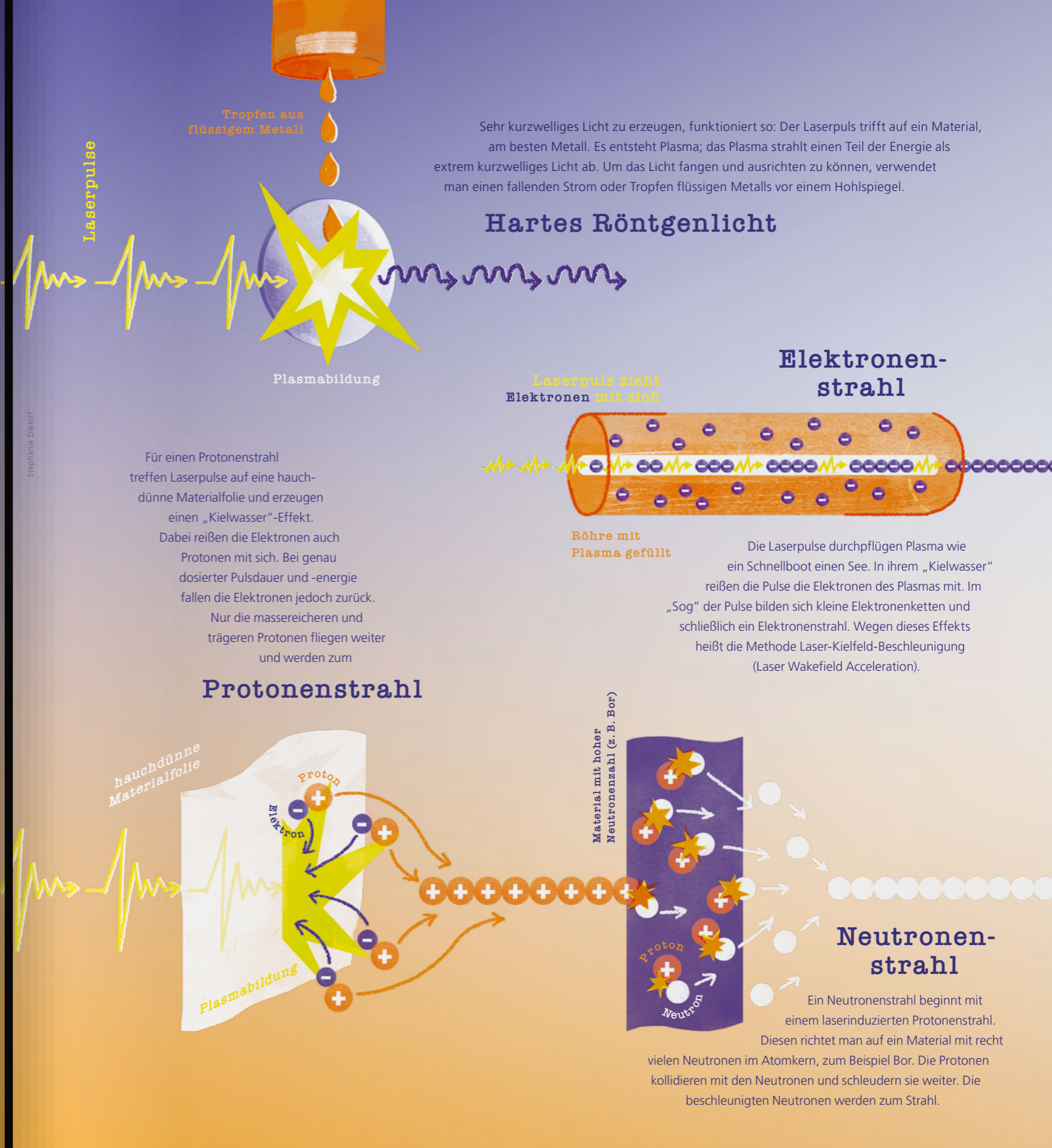
Lange lagen die Konzepte in den Uni-Schubladen – jetzt lassen neue UKP-Laser sie Wirklichkeit werden.

auf ein brauchbares Tempo nahe der Lichtgeschwindigkeit kommen. Doch schon seit Jahrzehnten liegen theoretische Konzepte in den Uni-Schubladen, wie man Strahlen viel einfacher und platzsparender herstellen könnte: Photonpackchen aus Lasern sollen die Teilchen beschleunigen. Allein es gab keine Laserstrahlquelle, die die Anforderungen erfüllt.

Das ist heute anders: UKP-Laser verließen vor rund zehn Jahren die Laborecke und zogen in die Werkshallen der Industriebetriebe ein. Das tat den UKP-Lasern gut. Denn damit sie in der neuen Umgebung zurecht kommen, setzen UKP-Pioniere wie TRUMPF alles daran, die Zuverlässigkeit und Leistung der Lasersysteme zu steigern. Im Fokus stehen zum Beispiel starke Pulsenergien und hohe mittlere Leistungen, also die Anzahl der Pulse pro Sekunde. Allein in den letzten fünf Jahren wuchs die mittlere Leistung bei TRUMPF UKP-Lasern von 50 auf 200 Watt; auch mehr als 1.000 Watt konnten die Ingenieure schon mehrfach demonstrieren.

Die Forscher können nun endlich ihre Konzepte aus den Schubladen ziehen und loslegen. Mit der neuen, industriegestählten UKP-Generation gelingt endlich die Teilchenbeschleunigung per Laser. Was vorher in 100 Meter langen Tunneln geschah, passiert jetzt auf einer Beschleunigungsstrecke von wenigen Millimetern. Die Hardware um diese paar Millimeter herum passt in eine Garage oder auf die Ladefläche eines Lkw. Im Falle der Elektronenstrahlen geht das dann so: Starke, sauber getimte Femtosekundenpulse schießen in eine Plasmaröhre. Macht man es richtig, reißen die Laserpulse die Elektronen einfach mit sich. Hier genügt eine Strecke von zehn Millimetern, um die gewünschte Elektronengeschwindigkeit zu erreichen (Näheres zu den einzelnen Konzepten, siehe rechts). Ein Magnetsystem verdichtet die Elektronen zu einem Strahl und bringt diesen an den gewünschten Ort. Darum sind lasergetriebene Teilchenbeschleuniger so viel kleiner und billiger als ihre großen Verwandten in den Tunneln.

LASER ALS ERZEUGER Die Anforderungen für die Photonenteilchenbeschleuniger klingen hoch: Kommen die winzigen Photonpackchen nicht auf die Nanosekunde genau mit der exakt richtigen Energie



Mach dir einen Strahl ...

einige tausend Mal am Mikrometergroßen Fleck an, geht der Beschleunigungsprozess entweder gar nicht erst los, oder er versiegt wieder. Anwender aktueller UKP-Generationen lächeln da nur müde; modengekoppelte Oszillatoren bekommen etwa locker auch eine zeitliche Präzision im Bereich einiger Femtosekunden hin. Und doch mag sich die ganze Angelegenheit für Laserenthusiasten wie eine Degradierung anfühlen. Denn die grandiosen Laserpulse sind ja bloß Mittel zum Zweck. Im Laborsprech nennt sich das Phänomen „Zweitstrahlquelle“ oder „Secondary Source“, wobei der Laser als vorgelagerte Strahlquelle dient. Das Prinzip ist vergleichbar mit einer Steckdose und einem Mikrowellenherd für die Küche: Ich möchte mein Mittagessen aufwärmen, benutze dafür aber nicht die elektrische Energie direkt, sondern erzeuge damit Mikrowellen, die schließlich meine Suppe dampfen lassen. Laserstrahlen

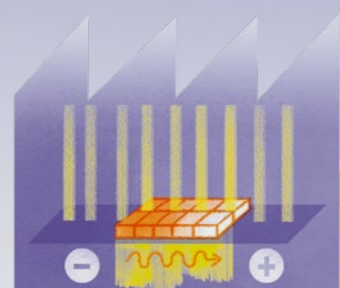
sind in diesem Beispiel der Strom – eine überaus edle Energiequelle –, das eigentliche Ziel aber sind die anderen Strahlen. Der Laser als Erzeuger.

KOMMERZIELLER DURCHBRUCH TRUMPF geht auf diesem Weg schon lange voran. Der weltweit erste kommerzielle Durchbruch des Prinzips „Laserzeugung“ ist 2017 die Belichtung von Halbleiterstrukturen auf Wafern mittels sehr weicher Röntgenstrahlung (genauer: EUV, also Extrem Ultra-Violette Strahlung). TRUMPF liefert für die Lithografieanlagen des Chipanlagenherstellers ASML die Hochleistungslasersysteme. Sie erzeugen leuchtendes Plasma, indem sie fallende Zinntropfen beschießen. Das Plasma emittiert Strahlung mit einer Wellenlänge von exakt 13,5 Nanometern. Um diese Strahlung geht es, denn damit lassen sich kleinste Transistorstrukturen in den Wafer einbringen.

100 Wafer pro Stunde produzieren diese Lithografieanlage seither zuverlässig. Diese neue Mikrochip-Generation steckt heute in Smartphones und allen möglichen anderen Anwendungen. Und was bei Mikrochips bereits funktioniert, soll in den nächsten Jahren in vielen weiteren Bereichen folgen: kommerziell erfolgreiche Anwendungen des Prinzips „Laser als Erzeuger“. Viele der Anwendungskonzepte sind zwar noch im Erprobungsstadium. Bis die meisten großflächig in der Industrie und Medizin ankommen, vergehen nach Expertenschätzungen noch fünf bis zehn Jahre. Aber die Möglichkeiten sind enorm. Der Schub für die Lasertechnik insgesamt ist es ebenso. Die Entwicklungsschübe für die (noch) exotischen Zweitstrahlquellen sind wie eine Formel 1 für UKP-Laser: Was sich hier bewährt, kommt mit ein wenig Verzögerung auch im „Straßenverkehr“ an, also in der Materialbearbeitung.

Das neue Strahlenzeitalter bricht an, in dem der Mensch subatomare Partikelstrahlen und Licht mit extremen Eigenschaften beherrscht, als wäre es das Normalste der Welt. Wie bei allen Erfindungen der Geschichte geht die technische und gesellschaftliche Umwälzung nicht sofort mit dem allerersten erfolgreichen Einsatz einher. Dieser liegt bei den elektromagnetischen Teilchenbeschleunigern ja auch schon ein paar Jahrzehnte zurück. Die Revolution beginnt vielmehr, wenn die Technologie günstig, einfach und breit einsetzbar ist. Bei den neuen lasergetriebenen Teilchenbeschleunigern ist es bald so weit. Strahlen für alle. Alle strahlen. ■

Kontakt: Torsten Mans,
Productmanagement Secondary Sources,
Telefon: +49 7422 515-000, torsten.mans@trumpf.com



Qualität kontrollieren

Zerstörungsfrei in Dinge reingucken: Mit hartem Röntgenlicht und Elektronenstrahlen geht das. Kurz vor der industriellen Reife steht die automatische Kontrolle von Transistorstrukturen auf Wafern mittels Röntgen. Auch Turbinen oder 3D-gedruckte Bauteile mit innen liegenden Strukturen lassen sich so untersuchen. Elektronenstrahlen kommen durch sehr feste Materialien wie Metall hindurch. Das ermöglicht den Blick in große oder bereits verbaute Bauteile. Lasergenerierte Strahlen haben außerdem eine hohe zeitliche Auflösung. So kann man „filmen“, wie sich zum Beispiel Elektrolyt beim Einfüllen in Batterien verteilt. Eine Software prüft dann die Funktionsfähigkeit und prognostiziert die zu erwartende Lebensdauer der Charge.

Nach Waffen und Drogen fahnden

Wenn man etwas mit Neutronenstrahlen durchleuchtet, geben die getroffenen Atome ein charakteristisches Fluoreszenzsignal ab. So weiß man genau, welche Stoffe man da gerade durchleuchtet hat. Das gilt auch für organische Materialien wie zum Beispiel Drogen oder die meisten Sprengstoffe, die für Röntgenstrahlen unsichtbar sind. Mit Neutronenstrahlen ließen sich ganze Container untersuchen. Die Idee ist also – wie bei der Gepäckkontrolle am Flughafen –, an Frachthäfen standardmäßig alle Container zu durchleuchten. Eine trainierte Software erkennt genau, was sie da sieht, und schlägt Alarm, wenn sie Waffen, Drogen oder Embargogüter entdeckt.

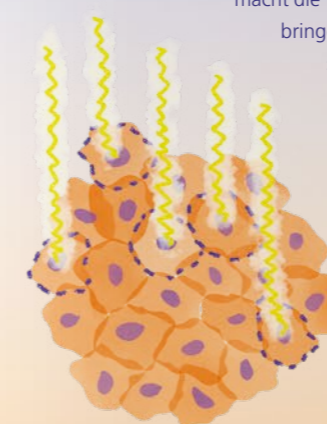


Neue Medikamente erfinden

Wie Medikamente im Körper wirken, ist meist ein Rätsel. Mit den neuen Strahlen lässt sich aber genau das beobachten, weil sie – wie in einem Video – die Medikamente im Inneren des Körpers verfolgen können. Auch die Faltung einzelner Proteine oder die Andockmechanismen von Viren werden Wissenschaftler in Zukunft leichter beobachten und auswerten, da es viel einfacher und billiger wird, die nötigen Röntgen- und Elektronenstrahlen zu erzeugen. Lasergenerierte Strahlen könnten daher der nächste Booster bei der Entwicklung neuer Medikamente und Impfstoffe werden.

Tumore sanft zerstören

Krebszellen mit Strahlen zu beschädigen, bis sie hoffentlich verschwinden, ist gängige Praxis. Doch die Radiotherapie mit Röntgen- oder Gammastrahlung belastet die Patienten und nur wenige Kliniken auf der Welt können sich die riesigen und teuren Geräte leisten. Günstige, laserinduzierte Elektronenstrahlen ändern das: Sie lassen sich per Magnete sehr viel besser fokussieren und zerstören weniger Gewebe um die Tumore herum. Das macht die Therapie erträglicher. Außerdem bringen die Elektronenstrahlen sehr viel schneller sehr viel mehr Energie in den Tumor ein, was ihn rascher zerstört. Noch besser lassen sich Protonenstrahlen in der Tiefe fokussieren. Sie wirken dann wirklich nur noch im Tumor. Vor Kurzem heilten Forscher damit die erste Maus.



Brücken prüfen

Neutronenstrahlen mobil herzustellen, war bis vor Kurzem ein irrsinniger Gedanke, braucht man dafür doch einen ganzen Kernreaktor. Doch mit der Lasermethode ginge das ohne Reaktor auf einem Lkw. Das könnte zum Beispiel dabei helfen, sogenannten Betonkrebs aufzuspüren. Feuchtigkeit und Salz machen Beton mit der Zeit porös, weil dessen Alkalien und Kieselsäuren miteinander reagieren. Mit Neutronenstrahlen vom Lkw ließen sich etwa Brücken durchleuchten, um den gefährlichen Betonkrebs früh zu finden. Erste Konzepte werden in Japan gerade entwickelt. Auch die Diagnose an anderen Bauwerken ist denkbar. Selbst eingelagerte, eigentlich ja strahlensichere Fässer für Atommüll lassen sich mit Neutronen überprüfen.

→ ... und tu

etwas damit!

” WIR FISCHEN NACH MIKROPLASTIK

Die umstrittenen Mikroplastikpartikel sind überall, selbst in geklärtem Wasser.
Andrea Lanfermann hätte da eine Lösung.

Frau Lanfermann, Sie haben Mikroplastik den Kampf angesagt. Übernehmen das nicht schon die Kläranlagen?

Leider nein. Tatsächlich ist es Teil des Problems, dass keine klare Richtlinie existiert, was Kläranlagen hier leisten müssen.

Wie meinen Sie das?

Bisher lautet die Definition von Mikroplastik nur, dass die Partikel kleiner sind als fünf Millimeter. Das ist eine großzügige Definition, denn es gibt auch Plastikpartikel im Nanobereich. Unklar ist, bis zu welcher Größe die Partikel gefiltert werden müssen und welche passieren dürfen. Die Filtration bis zu zehn Mikrometern wollen wir jetzt in Angriff nehmen.

Nämlich wie?

Gemeinsam mit unseren Partnern haben wir einen Zyklonfilter mit zehn Mikrometern kleinen Löchern entwickelt. Er nutzt die Zentrifugalkraft sowie einen perforierten Filtereinsatz, um Partikel vom Wasser zu trennen. Die ersten Tests in einer Kläranlage waren vielversprechend: Plastikteilchen bis runter auf eine Größe von zehn Mikrometern – wir fischen sie fast alle.

Ganz schön kleine Löcher.

Richtig. Um solch kleine Löcher zu bohren, setzen wir einen Ultrakurzpuls-Laser ein. Den Filtereinsatz für unseren Prototypen hat unser Partner LaserJob mit einem TruMicro 5225 gebohrt, das hat zwei Wochen gedauert. Schließlich mussten 59 Millionen Löcher mit einem einzelnen Laserstrahl gebohrt werden.

DER GEGNER Mikroplastik belastet unser Wasser. Eine Studie des Alfred-Wegener-Instituts kommt zu dem Ergebnis, dass im gefilterten Wasser einer typischen Kläranlage immer noch mehr als 700 Mikroplastikpartikel pro Kubikmeter vorhanden sind. Pro Jahr sind das bis zu 5,3 Milliarden dieser kleinen Teilchen, die von Tieren und Menschen aufgenommen werden und ihre Organismen schädigen können.

DIE PARTNER In dem Projekt SimConDrill bündeln die Partner Klass Filter GmbH, LaserJob GmbH, Lunovu GmbH, OptiY GmbH und das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT ihr Expertenwissen.



Dominik Asbach | Fotogloria

Öhm, wie soll das denn bitte wirtschaftlich sein?

Abwarten. Daraufhin haben wir einen Prozess fürs Multistrahlbohren entwickelt. Mit einem TruMicro 5280 Femto Edition bohren wir die kleinen Poren in eine 100 Mikrometer dünne Edelstahlfolie. Über eine spezielle Optik erzeugen wir eine Matrix von identischen Strahlen. Wir splitten den Laserstrahl in 144 Einzelstrahlen auf, bohren also 144 Löcher gleichzeitig. Das reduziert die Bearbeitungszeit deutlich. Knackpunkte gibt es aber nach wie vor: Durch das Aufteilen des Laserstrahls reduziert sich die

Energie jedes einzelnen Strahls. Das System muss also in der Lage sein, dennoch präzise Löcher zu bohren.

Da wir eine größere Fläche erwärmen, haben wir außerdem mehr thermischen Verzug. Deswegen ist es gerade beim Multistrahlbohren wichtig, dass wir uns mit der Qualitätssicherung und Prozessüberwachung beschäftigen, um diese thermischen Effekte besser verstehen und kontrollieren zu können. Wir haben hier am Institut eine Simulationssoftware für das Laserbohren entwickelt, die von unserem Partner OptiY mit einer Optimierungssoftware unterstützt wird. Damit berechnen wir die Bohrlochform und die Wärmebelastung und bestimmen die optimalen Parameter, um diesen Verzug zu verhindern. Schließlich ist es unser Ziel, Filter mit möglichst vielen Löchern zu erzeugen.

Warum denn das?

Unser Filter lässt 33 Liter pro Minute durch. Für eine Kläranlage ist das zu wenig. Man darf auch nicht vergessen: Durch die Geometrie des Laserstrahls entstehen konische Löcher, die brauchen mehr Platz. Ein Loch mit zehn Mikrometern Durchmesser hat an der Eintrittsseite einen Durchmesser von 30 Mikrometern. Das beschränkt die Anzahl der Löcher, die wir auf der Filterfläche einbringen können – und damit den Wasserdurchfluss. Aktuell haben die gebohrten Folien eine offene Fläche von 2,5 Prozent. Diesen Anteil zu erhöhen, ist eine der Hauptaufgaben der folgenden Forschungsprojekte.

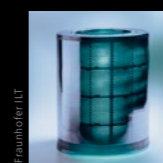
Was sind die anderen Ziele?

Wir möchten bis zu 500 Nanometer kleine Löcher in noch dünnere Stahlfolien einbringen und den Laserstrahlprozess industrietauglich machen. Unser Partner Lunovu erstellte dafür ein Interface, über das die Anwender Größe, Fläche und Anordnung der zu bohrenden Löcher eingeben können. Das spart das aufwendige Erstellen von manuellen Prozessplanungen. Damit lassen sich auch Filter für andere Zwecke fertigen.

Und welche wären das?

Die dezentrale Abwasserreinigung zum Beispiel. Der Filter kommt dann an dem Ort zum Einsatz, an dem Mikroplastik entsteht. Etwa bei einer PET-Recyclingfirma, die ihr Abwasser reinigt, bevor es in die Kläranlage geht. Davon abgesehen existieren auch Anwendungen jenseits von Mikroplastik: Es gibt Überlegungen, den Filter mit einer biologischen Komponente auszustatten. Nach der mechanischen Filtration könnten Nanopartikel mit Enzymen oder Proteinen gebunden und zersetzt werden. So ließen sich Spurenstoffe aus dem Wasser filtern. Die Möglichkeiten sind vielfältig, wir stehen gerade erst am Anfang. ■

DER FILTER Im SimConDrill-Zyklonfilter rotiert das zu reinigende Wasser um den Zylinder in der Mitte. Auf den Zylinder ist der lasergebohrte Filtereinsatz aufgeschweißt. Ein hydrodynamischer Abstreifer stellt sicher, dass sich keine Partikel in den Filterlöchern festsetzen.



Fraunhofer ILT

LAHEAD

DARAUF FLIEGT DIE RAUMFAHRT

Alle wollen in den Weltraum und alle brauchen dasselbe dafür: Schub für Raketen, Satelliten, Landefähren. Die heißeste Technologie für Triebdüsen im Raumfahrt-Boom ist inzwischen der 3D-Druck.

Durango, Colorado Charlie Garcia wacht morgens auf und hat solche E-Mail-Anfragen: „Wir planen eine Mondlandung“, „Wir wollen die Venus umkreisen“, „Wir möchten auf dem Mars landen“. Er ist Cheffingenieur für Spezialprojekte bei Agile Space Industries. Vorher war er Ingenieur bei SpaceX und ist Experte für das, was alle brauchen, die hoch und weit hinaus wollen ins All: Schub.

MARKTFÜHRER FÜR MONDLANDUNGEN Er sagt: „Der Weltraum ist wieder cool. Die zivile, kommerzielle Raumfahrt boomt. Wir haben von Jahr zu Jahr mehr Kunden, und diese Kunden bestellen von Jahr zu Jahr mehr Produkte.“ Bei Agile Space sind das sogenannte Thruster: Schubdüsen mit Brennkammer und allem, was dazugehört. Thruster gibt es in verschiedenen Ausführungen, etwa als Steuerungsdüsen zur Ausrichtung eines Satelliten oder als klassische Antriebsdüsen für Raketentriebwerke. Eine Spezialität des Unternehmens sind Düsen für Mondlandungen. „Wir sind Marktführer für lunare Lander“, bestätigt Garcia.

Diese Düsen zur Lageregelung sind ungefähr so groß wie eine 0,5-Liter-Getränkedose, und in ihren Wänden verlaufen unterschiedliche Kanäle. Darin fließt sowohl ein spezieller Zweikomponententreib-

stoff als auch Sauerstoff. Wenn sich die Mondfähre im Landeanflug befindet, richten die Thruster sie aus und dämpfen den Aufprall. Weltraumbenzin und Sauerstoff zünden, wenn sie sich im luftleeren Raum mischen; im Thruster herrscht dann schon mal eine Höllehitze von 3.000 Grad Celsius.

GOLD INS MEER GESCHNISSEN Die Besonderheit bei Agile Space: Hier kommen die Thruster aus dem 3D-Drucker. Lange zögerte die Weltraumindustrie, den 3D-Druck einzusetzen. Man vertraute lieber auf Herstellungsprozesse, die sich seit Jahrzehnten bewährt hatten – denn im All schickt dir niemand ein Ersatzteil, wenn's mal hakt. „Doch vor etwa vier Jahren, als der neue Run aufs All einsetzte, hat sich die Einstellung gegenüber der additiven Fertigung völlig umgedreht. Unsere Branche erkannte, dass Raumfahrt und 3D-Druck ein perfektes Match sind“, sagt Garcia und meint damit den Bedarf an gewichtsoptimierten, hochkomplexen Teilen mit innen liegenden Kanälen. Er meint auch exotische Legierungen und kleinste Serien bis zur Einzelanfertigung. „Den letzten Ausschlag gab das, was man in unserer Industrie Buy-to-fly-Ratio nennt.“ Diese Relation beschreibt, wie viel gekauftes Werkstoffgewicht am Ende tatsächlich auf die Reise geht. Und in der Buy-to-fly-Ratio ist der 3D-Druck unschlagbar.

Sündhaft teure
Weltraumlegierung
Niobium 103.



Agile Space-Tüftler
Nick Gabrielli überlegt
sich immer wieder
neue 3D-Druckstrategien
und holt mehr aus den
Maschinen raus, als sie
offiziell können.



Chandler Crowell | Fotogloria

3D-gedruckter Thruster für die
Lageregelung bei der Mondlandung.



„Unsere Branche hat endlich erkannt, dass Raumfahrt und 3D-Druck ein perfektes Match sind.“

Charlie Garcia, Chefingenieur bei Agile Space Industries



Speziallegierungen, wie man sie für die Raumfahrt braucht, sind elendig teuer. Im Falle der Thruster ist das etwa das enorm hitzebeständige Niobium 103, das gerne mal 1.600 Dollar pro Kilo kostet. „Wenn wir aus dem Vollen fertigen – also aus einem Rohling bohren, fräsen, drehen –, kann es gut sein, dass wir fünf Kilo Niobium kaufen und nachher viereinhalb Kilo Abfall haben. Ins All fliegen nur 500 Gramm“, sagt Garcia. „Das ist, als würde man seinen Ehering aus einem Goldbarren fräsen und den Rest ins Meer schmeißen.“ Durch die additive Fertigung hingegen verbraucht Agile Space nun exakt so viel teuren Werkstoff, wie am Ende tatsächlich im Teil steckt.

Mount Pleasant, Pennsylvania Darum läuft im Weltraumbusiness aktuell ein Run auf 3D-Drucker und Lohnfertiger, die diese Maschinen ausreizen können. Agile Space hat sich hierbei die Tronix3D aus Pennsylvania zum Partner gemacht und sie 2021 sogar unter dem neuen Namen Agile Additive in den Konzern geholt. Co-Gründer Kyle Metsger und sein Team haben schon zu Beginn der Zusammenarbeit schnell erkannt, wie sie Agile Space den entscheidenden Schub verpassen.

KNACKPUNKT TESTFEEDBACK Metsger erinnert sich: „Agile Space war schon vorher gut darin, unnötige Bremsen im langwierigen Entwicklungs- und Testprozess von Thrustern zu finden und zu eliminieren. Das ist einfach ihr Ding. Wir sagten ihnen, wir hätten da noch eine Idee. Dazu müssen wir einander aber vertrauen.“ Es geht um die Daten aus den zahlreichen kalten und heißen Tests der Thruster. Wenn Metsger und sein Team diese Daten direkt bekämen, könnten sie sie mit den eigenen Fertigungsdaten aus den Maschinen zusammenbringen. Agile Space ist einverstanden. „Und auf einmal sahen wir



„Wer heute in der Weltraumbranche Erfolg haben will, muss additiv fertigen.“

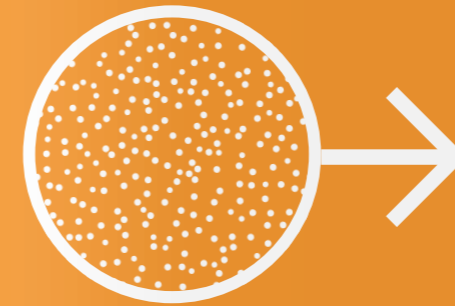
Kyle Metsger, Technologie und Innovation bei Agile Additive

Hinweise für Anpassungen, die wir sofort umsetzen konnten.“ Dadurch gelingt es gemeinsam, die Entwicklungszeiten von ein paar Monaten auf wenige Wochen zu senken. Das bedeutet für die Kunden von Agile Space wiederum einen riesigen Vorsprung beim Rennen ins All.

Metsger sagt: „Das schafften wir bloß, weil wir selbst einen experimentierfreudigen Lieferanten für unsere additiven Maschinen gesucht und gefunden haben.“ Denn es ist von Anfang an klar, dass die 3D-Jungs fürs Weltraumbusiness viel mit Pulvern, Legierungen, Einstellungen und Konstruktionsansätzen herumprobieren müssen. Metsgers Wahl fällt auf 3D-Drucker von TRUMPF, und auch hier setzt er auf Vertrauen. „TRUMPF wurde schnell unser Partner auf Augenhöhe. Wir vertrauen einander mehr an, als es in Geschäftsbeziehungen üblich ist“, so Metsger. „Davon profitieren wir beide. Wir machen hier Sachen, die weit über das hinausgehen, was die Maschinen offiziell können. Und TRUMPF bekommt wertvolles Feedback von einem ‚sophisticated user‘.“

Heute stehen bei Agile Additive eine TruPrint 1000, zwei TruPrint 2000 und seit Sommer 2022 die noch größere TruPrint 5000, die erste in den USA. Das hat einen Grund: Die Bauteile wachsen. Nicht nur, weil Agile Additive die Erfolge beim 3D-Druck von kleineren auf größere Teile überträgt, sondern auch, weil sie inzwischen ganze Baugruppen in einem Bauteil zusammenführen. Das spart Gewicht, Montagekosten – und Komplexität. Wo weniger ist, kann weniger kaputtgehen. Vor dem Raketenstart senkt es den Aufwand für Sicherheitsprüfungen und Zertifizierungen, und im All erhöht es die Erfolgswahrscheinlichkeit. Metsger fasst seine Erfahrungen der letzten Jahre zusammen: „Wer heute in der Weltraumbranche Erfolg haben will, muss additiv fertigen. Alle anderen sind bald abgehängt.“ ■

Kontakt: Agile Additive, Kyle Metsger, Telefon: +1 724-260 8061, kmetsger@agileadditive.com



geringe Wärmeleitfähigkeit



In der amorphen Struktur haben die Atome weniger Bewegungsfreiheit. Deshalb nehmen amorphe Metalle Wärmeenergie nur langsam auf und fühlen sich warm an.

hohe Korrosionsbeständigkeit



Im amorphen Haufen gibt es keine frei beweglichen Elektronen wie im Gitter. Das senkt die Bindungsbereitschaft gegenüber anderen Elementen.

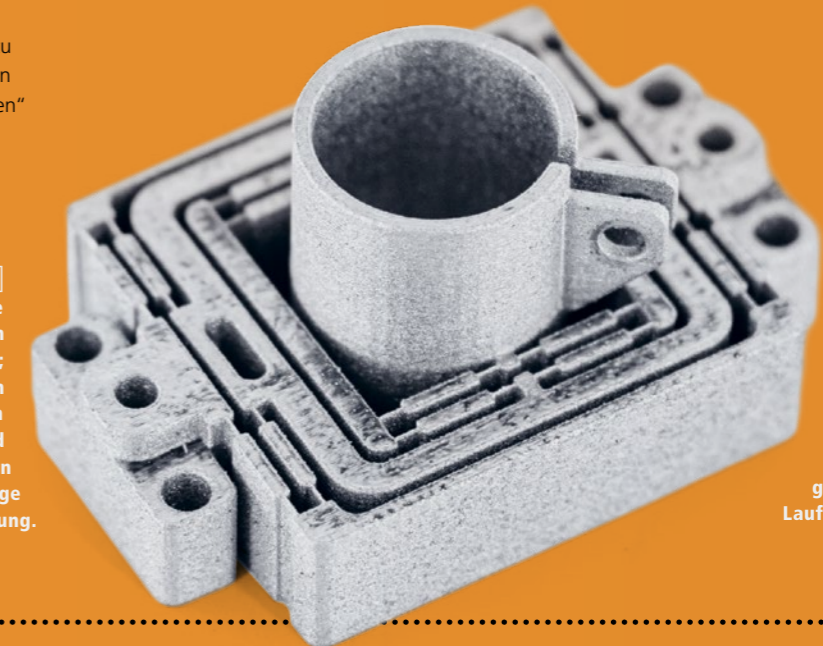
hohe mechanische Belastbarkeit



Weil amorphe Metalle keine Kristallstruktur aufweisen, sind sie in alle Richtungen gleich belastbar und trotzdem hart und hochflexibel.

Erstarrt Metall extrem schnell, bleibt selbst flinken Atomen keine Zeit, sich zu einem Gitter zu ordnen. Sie bilden eine amorphe Struktur, wie in Gläsern. Das verleiht diesen „amorphen Metallen“ besondere Eigenschaften.

[FESTKÖRPERGELENK]
HERAUSFORDERUNG: hochgenaue Führung von Fokussierspiegeln in Lasermaschinen auf einer Spindel; Beweglichkeit mit mehreren Freiheitsgraden zwischen Laufbuchse und Gehäuse, um Verkanten zu verhindern; aufwendige Montage und Justierung.



VORTEIL AMORPH: Re-Design und Fertigung als Bauteil aus einem Stück; dünne, elastische Stege im Gehäuse erlauben Ausgleichsbewegungen zwischen Laufbuchse und Gehäuse.

Wunderstoff!

Metallische Gläser haben fantastische Eigenschaften, aber bisher konnte man wenig damit anfangen. Per 3D-Druck geht jetzt alles, was man will. Vier Beispiele, die teils schon in Serie sind.

[IN-EAR-KOPFHÖRER]

HERAUSFORDERUNG: Akustik auf engem Raum; komplexe Formen; Hinunterfallen und Kratzen in den Taschen; chemische Belastung bei Körperkontakt; Tragekomfort im Winter (kaltes Metall im Ohr)

VORTEIL AMORPH: optimierte Formgebung unter anderem mit Hohlräumen; elastische Härte und Korrosionsbeständigkeit sowie geringe Wärmeleitfähigkeit für ein warmes Tragegefühl

Kontakt: Heraeus AMLOY, Valeska Melde, amloy@heraeus.com; TRUMPF, Jan Christian Schauer, jan-christian.schauer@trumpf.com



[MEDIZINISCHE PROTHESE]

HERAUSFORDERUNG: Gewicht; Biokompatibilität; mechanische Belastung

VORTEIL AMORPH: biokompatibel; höhere Elastizität als Knochen, geht also bei Belastung mit und hat keine bevorzugte Belastungsrichtung

[RESISTENTES UHRENGEHÄUSE]

HERAUSFORDERUNG: hohe mechanische und chemische Belastung durch Stöße, Kratzer, Wasser und Schweiß

VORTEIL AMORPH: Designfreiheit im 3D-Druck; elastische Härte und Korrosionsbeständigkeit



Aluminium endlich dichtgeschweißt

Dichtschweißen von Alu ist zum Verzweifeln: zu viele gasdurchlässige Poren in der Naht. Doch ein Blick in die Dampfhölle des Keyholes zeigt, dass es eigentlich bloß eine andere Strahlformung braucht, damit sie verschwinden.

Das Laserschweißen von hochreflexiven Alu-Legierungen funktioniert inzwischen prächtig: wunderschöne feste Nähte, in Hochgeschwindigkeit eingebracht. Dass es in den Nähten auch einige Poren – also Gaseinschlüsse – gibt, stört mechanisch nicht. Anders sieht die Sache aus, wenn es darum geht, Gas gefangen zu halten, also gasdichte Schweißnähte zu ziehen. Denn wenn die Nähte voller Poren sind, bilden sich darin winzige Kanäle, über die Gas eindringt oder flüchtet.

GASDICHTES DILEMMA Bei gasdichten Nähten gibt es bislang zwei Wege aus dem Dilemma: Wer es blitzschnell, hochwertig und energieeffizient braucht, greift zum Laser – aber eben auch zu teureren Werkstoffen wie Edelstahl. Für alle anderen gibt es das träge Löten. Löten fügt Alu gasdicht. Also zumindest dann,

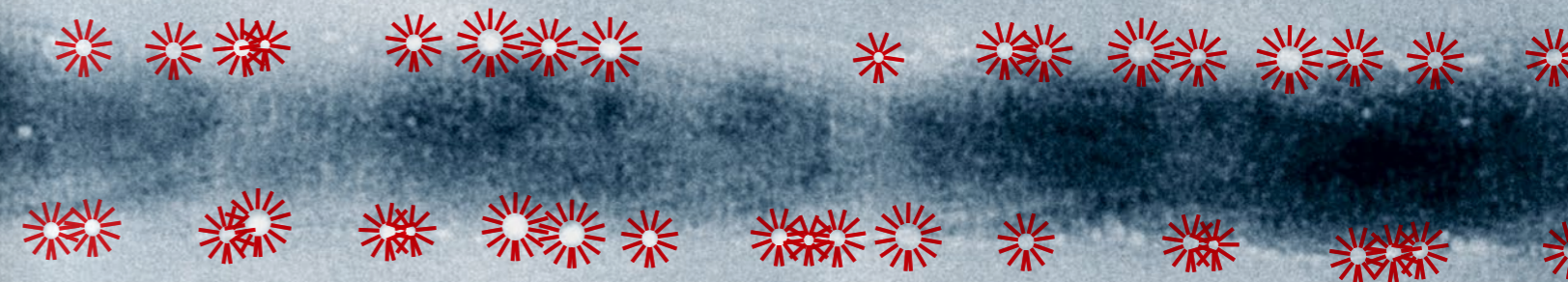


Autor: **Dr. Mauritz Möller** ist Schweißfachingenieur und arbeitet im TRUMPF Branchenmanagement Automobil. Er war an der Entwicklung des Multifokusschweißens beteiligt. Kontakt: +49 7156 303-34604, Mauritz.Moeller@trumpf.com

wenn einem hundertfach höhere Energiekosten schnuppe sind, man viel Zeit hat und für die Anlage eine freie Fläche so groß wie ein Handballfeld.

Nun ist es aber so, dass die Mobilität der Zukunft millionenfach zuverlässig gasdichte Schweißnähte erfordert. Und zwar möglichst hochautomatisiert gezogen und in leichtem, günstigem Aluminium. Die Rede ist von Gehäusen für Leistungselektronik und Kühlplatten bei E-Autos. Diese Gehäuse führen wassergefüllte Kühlkanäle und schirmen die empfindlichen Elektronikkomponenten der zusammengepackten Akkus gegen Feuchtigkeit und Witterung ab: Nichts darf hier rein oder raus. Und die möchte zum Beispiel unser Entwicklungspartner Benteler bereitstellen. Gemeinsam mit dem Automobilzulieferer fassten wir den Plan, das oben beschriebene

Oben und unten: Schweißnähte in Röntgenaufnahmen.



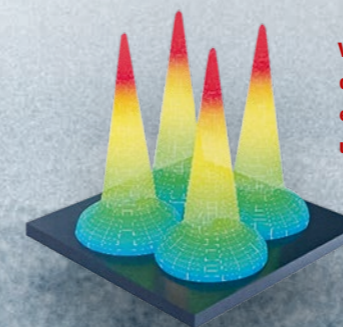
Bei einem einfachen Fokus kollabiert das Alu-Keyhole in regelmäßigen Abständen und schließt Gas in der Naht ein. Diese Porenbildung mindert die Dichtigkeit der Naht.

Dilemma nicht mehr hinzunehmen und endlich einen Weg zu finden, gasdichte Laserschweißnähte hinzukriegen. Wir sagten den Poren den Kampf an.

INS DAMPFENDE HERZ Auf die Erfolgsspur führen uns Analysen zusammen mit externen Partnern aus Forschung und Entwicklung. Wir blicken direkt in den tiefen und schmalen, dampfgefüllten Hohlraum, der beim Laserschweißen entsteht: Das Licht lässt Metall schmelzen und verdampfen. Und der Dampfdruck presst die Schmelze seitlich und nach unten weg. So öffnet sich die Dampfkapillare, auch Keyhole genannt. Wandert der Strahl durch das Metall, umfließt die Schmelze das Keyhole und erstarrt hinter ihm zur Naht.

Solange das Keyhole stabil ist, ist alles gut. Doch wenn die Laserleistungsverteilung auf der Innenwand des Keyholes ungleichmäßig wird, schwankt der Durchmesser der Öffnung. Und wenn die Öffnung zu eng wird, passiert Folgendes: Ein Teil des Dampfes kann nicht mehr entweichen und bildet eine Ausstülpung an der Rückwand. Die Störung im Gasfluss erzeugt jetzt einen Unterdruck, die Schmelze kollabiert und schließt den Dampf ein: der berühmte Gaseinschluss, auch Pore genannt. Das kann in jedem Werkstoff passieren. Doch in Aluminiumlegierungen geschieht das aus chemischen Gründen schneller, leichter und öfter als zum Beispiel in Stahl.

KEYHOLE DURCHGEHEND GEÖFFNET Was tun, wenn etwas zu eng ist? Genau: aufweiten. Und wenn schwankende Leistungswerte und Kollaps zum Problem werden? Dann sorgt man für mehr Stabilität. Und beides geht so: Unser Ausgangspunkt ist die BrightLine Weld,



Vier Fokusspots verhindern den Kollaps, sodass alles Gas entweicht. Die Naht ist porenfrei und absolut dicht.

„Jetzt können E-Autobauer gassichere Nähte in Alu ziehen.“

eine bewährte Strahlformtechnologie. Sie sorgt bereits für einen wesentlich stabileren Prozess, indem sie das Laserlicht im Lichtkabel in einen inneren und äußeren Faserkern teilt – und damit die Leistungsverteilung fürs Hochgeschwindigkeitsschweißen optimiert. Aber das ist nur die Vorbereitung für den eigentlichen Trick.

Der findet in der Optik statt: Sie splittet den Laserstrahl in vier einzelne Spots. Diese bilden ein Viereck und sind so angeordnet, dass sich ihre Wirkradien überlappen – schließlich wollen wir nicht vier kleine Keyholes, sondern ein richtig großes. Dank der vorherigen Ring-Kern-Aufteilung nutzt jeder der vier Fokusse seine Power hocheffizient. Die Laserleistung verteilt sich jetzt sehr gleichmäßig auf die gesamte Wirkfläche, und das Keyhole bleibt konstant offen und lässt Dampf ab. Da kollabiert nix mehr und deswegen wird auch kein Gas mehr eingeschlossen. Die Poren sind weg.

Sichtbares Zeichen des Erfolgs: Die Keyhole-Fläche ist mit dem MultiFokus zehnmal größer als ohne. Schön auch, dass die Dimension des Schmelzbades nur noch um sieben Prozent schwankt statt wie vorher um 50 Prozent. Der Prozess ist also viel ruhiger.

Unsere Versuche und Messungen ergeben, dass die neue Multi-Fokus-Optik zu nahezu 100 Prozent zuverlässig ist, wenn es um gasdichte Nähte geht. Und flink ist sie auch: Wir arbeiten derzeit mit bis zu 15 Metern pro Minute. Im Labor testen wir bereits 30 Meter pro Minute. Unser Entwicklungspartner Benteler freut sich schon, wenn es mit der patentierten Technologie bald in die Serie geht. Denn es warten jede Menge Aluminium-Leistungselektronikgehäuse und -Kühlplatten für Batterien, die endlich per Laser verschweißt werden wollen. ■

„Manchmal ist es ein Vorteil, klein zu sein“

Gediminas Račiukaitis ist Präsident der Litauischen Laser Gesellschaft. Hier erklärt er, wie es möglich ist, dass sein kleines Land eine so starke Laserlandschaft entwickelt hat.

Tadas Kazakevičius | Fotogloria

Gediminas Račiukaitis fühlt sich zu Hause in den Straßen der litauischen Hauptstadt Vilnius. Mit der Lasertechnologie will er jungen Litauern helfen, im eigenen Land Heimat zu finden.

”

Herr Račiukaitis, passiert es Ihnen oft, dass die Leute ungläubig und überrascht sind, wenn Sie ihnen von der Laserwelt in Litauen erzählen?

Ja, das ist normal.

Woran liegt das Ihrer Meinung nach?

Nun, wir sind ein kleines Land mit nicht einmal drei Millionen

Einwohnern. Eine ehemalige Sowjetrepublik, die erst seit rund 20 Jahren in der Europäischen Union angekommen ist. Wir sind es gewohnt, dass man uns unterschätzt.



Was Lasertechnologie angeht, so gibt es die bei uns seit 1966 – länger als in den meisten anderen Ländern der Welt.

Warum so früh?

Die litauische Laserlandschaft geht im Grunde auf drei Studenten zurück. Sie machten sich 1962 nach Moskau auf, um Quantenelektronik und damit auch die frühe Lasertechnik zu studieren. Sie halfen, 1966 den ersten Laser in Litauen zu zünden, und gründeten später das Laserforschungszentrum der Universität Vilnius und das Zentrum für Physikalische Wissenschaften und Technologie mit der Abteilung für Lasertechnologie, deren Leiter ich bin. Jeder, der in Litauen etwas mit Lasern macht, hat mit einem dieser Institute zu tun. Meistens mit beiden. Sie liegen nur 20 Kilometer auseinander. Kommerzielle Laser für die Wissenschaft bauen wir in Litauen seit 1983.

Und wie stellt sich die litauische Laserlandschaft heute dar?

Wir haben mehr als 50 Firmen im Land, die Laser oder optische Komponenten dafür herstellen. Ungefähr 1.400 Leute arbeiten dort. Der Gesamtumsatz beträgt etwa 176 Millionen Euro.

Das ist nicht so viel.

Nein, das ist nicht so viel. Aber wenn Sie ein Smartphone Ihr Eigen nennen, ist ziemlich sicher eine Komponente darin zu finden, die mit litauischen UKP-Lasern gemacht wurde. Unser kleines Land hält nämlich bei manchen High-tech-Systemen mit den USA, Deutschland und China mit.

Was stellen die Firmen her?

Traditionell stark sind wir bei Lasern für die Wissenschaft. Bei der Extreme Light Infrastructure ELI, einem europäischen Laserprojekt, arbeiten wir an den intensivsten Lasern der Welt mit. Vor rund 15 Jahren fingen die ersten litauischen Firmen dann an, Laser und optische Komponenten explizit für die Industrie herzustellen. Das Einfallstor war damals die Industrialisierung des UKP-Lasers, worin wir von Anfang an stark waren. Inzwischen haben wir ein ganzes Spektrum im Land: Hersteller von Lasern oder von Maschinen mit Laserfertigung, Hersteller von optischen Komponenten, zum Beispiel beschichteten Linsen oder OPOs. OPOs sind Verstärker und Umwandler für Laserlicht, 90 Prozent der weltweit verkauften OPOs kommen aus Litauen. Es gibt hier inzwischen auch einige Lohnfertiger, die mit Laserstationen arbeiten und High-End-Bearbeitungen anbieten, wie etwa Glastrennen. Und derzeit steigen einige unserer Unternehmen in die Medizintechnik ein.

Welches ist das litauische Vorzeigeprodukt in Sachen Laser?

Wenn ich eines herauspicken muss, dann nehme ich den OPCPA. Das ist ein Verstärker für ultrakurze Laserpulse. Damit sind litauische Firmen schon lange sehr erfolgreich. Überhaupt spielen wir, was UKP-Technologien und deren Komponenten angeht, auf Augenhöhe mit dem Rest der Welt. Das freut mich besonders,

„Wenn Sie ein Smartphone haben, ist es ziemlich sicher, dass einige Komponenten davon mit litauischen UKP-Lasern gemacht wurden.“

weil es sich hierbei um Zukunftstechnologien handelt, mit denen wir immer intensivere Laser bauen werden.

Wem verkaufen Sie das alles?

Dem Ausland. Es gibt nur wenige litauische Unternehmen, die mit Lasertechnologie produzieren. Das ist leider ein Nachteil, zum Beispiel im Vergleich zu Deutschland. Denn dort ist es viel einfacher, das Ohr an den Anwendern zu haben und zu wissen, was sie wollen. Man trifft sich schließlich oft und kann sich ihre Fabriken anschauen. Wir arbeiten inzwischen daran, dass auch wir mehr Feedback von den Endnutzern bekommen. Die kommen nicht zu uns, also müssen wir zu ihnen. Wir von der Litauischen Laser Gesellschaft planen etwa gerade einen Besuch bei Firmen in Korea und Taiwan.

Was ist das Geheimnis des litauischen Lasererfolgs?

Dass es manchmal eben auch ein Vorteil ist, klein zu sein. Denn wir kennen einander alle persönlich. Die meisten Firmen sind Spin-offs der großen Institute, die meisten Gründer oder Mitarbeiter kennen die gleichaltrige Belegschaft der anderen Firmen und der Institute vom Studium. Es ist üblich, von der Wissenschaft in die Wirtschaft zu wechseln und wieder zurück. Das führt dazu, dass Forschung und Entwicklung an den Instituten sich stark an den Bedürfnissen der Unternehmen orientieren. Wir Laserleute vertrauen einander, auch über die Unternehmen



Zur Person: Gediminas Račiukaitis leitet die Abteilung Lasertechnologie am Zentrum für Physikalische Wissenschaften und Technologie in Vilnius. Er erforscht dort unter anderem die laserinduzierte Erzeugung hochenergetischer Elektronenstrahlen und die selektive Metallisierung per Laser für die Elektronik. Zudem ist er Präsident der Litauischen Laser Gesellschaft und begleitet den Aufstieg und Ausbau der exportorientierten Branche von Beginn an.

hinweg. Natürlich konkurrieren wir auf dem Markt, aber die Firmen arbeiten eher zusammen als gegeneinander. Ich würde sagen, in dieser Form ist das weltweit einmalig in der Photonik.

Was hat das Land Litauen von dem ungewöhnlichen Erfolg der Photonikbranche?

Natürlich erst einmal das Übliche: eine starke Wirtschaft, Renommee. Aber ich finde etwas anderes wichtiger: eine Heimat für meine Landsleute.

Wie meinen Sie das?

Es ist in Litauen üblich, ins Ausland zu schießen, wenn es um die Berufswahl geht. Am besten man studiert in Oxford

– egal was, egal mit welchem Erfolg – und arbeitet danach in Schweden oder Deutschland. Ja, für manche ist das schön. Aber man verliert dabei die Heimat, und viele sind deswegen unglücklich. Eine blühende Laserlandschaft ermöglicht es den jungen Menschen, für sich eine gute Zukunft in Litauen zu sehen; mit spannenden Aufgaben und einer gut bezahlten Arbeit. Sie ist das beste Mittel gegen Braindrain. Dass dieser Bedarf nach Heimat da ist, sehe ich jedes Jahr aufs Neue.

Woran?

An der Uni Vilnius entscheiden sich 40 von 50 Physikstudenten für die

Fachrichtung Laserphysik oder Lasertechnologie. Auf den Gängen der anderen physikalischen Fachrichtungen geht es ruhiger zu, weil es dort keine Zusammenarbeit mit der Wirtschaft gibt. Natürlich ist das Thema Laser auch einfach toll – aber es bietet halt vor allem eine hervorragende Zukunftsaussicht. Und die jungen Menschen erkennen das.

Was glauben Sie: Wie sieht die Zukunft der litauischen Lasertechnologie aus?

Von 2009 bis 2021 wuchs unsere Photonik um 16 Prozent im Jahr. Das ist rasant, aber ich denke, es wird ähnlich weitergehen. Dafür brauchen

wir Zugang zu mehr Märkten, damit das Wachstum auch irgendwo hingehen kann. Als Laserverband arbeiten wir daran. Was die Anwendungen betrifft, so sehe ich gute Chancen in der optischen Kommunikation und der quantenoptischen Kommunikation. Erste unternehmerische Aktivitäten in diese Richtung beobachte ich bereits. Da wird noch mehr kommen. Bald schon.

Haben Sie denn einen Tipp für andere Länder?

Wenn man in Wissenschaft und Industrie keine Laser einsetzt, dann bleibt alles stehen. Alles dunkel. ■



Thailand

BLICK AUF DIE WIRTSCHAFT

Thailand hat die **stärkste Industrie Südostasiens**. Unternehmen konzentrieren sich als Cluster in der Hauptstadt Bangkok und ihrer Umgebung. Andere Landesteile sind schwach industrialisiert.

Die wichtigste Industrie ist der **Automobilbau**. Vor allem japanische OEMs (Toyota, Honda, Mitsubishi, Nissan), aber auch Ford und chinesische Hersteller lassen hier insgesamt rund **2,5 Millionen Fahrzeuge** pro Jahr produzieren.

In der Folge gibt es eine starke Struktur an **Automobilzulieferern**. Der größte Player ist hier die Thai Summit Group.



Autobauer und Zulieferer haben eine hohe Nachfrage nach Maschinen zum **3D-Laserschneiden**, zum Beispiel von Karosseriebauteilen.

LASER AUF THAI

WILLKOMMEN IM LASERLAND THAILAND!

nominelles Bruttoinlandsprodukt pro Kopf
7.168
US-Dollar

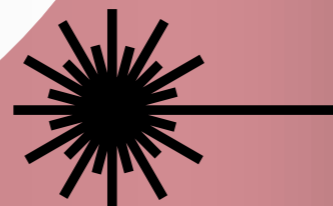
45%
Industrieanteil an der Wirtschaftsleistung



70 Mio.
Einwohner



Seit Kurzem beginnt in Thailand die Produktion für **E-Mobilität**. Mercedes-Benz baut dort Batterien, BMW montiert fünf verschiedene Plug-in-Hybrid-Modelle, was die Nachfrage nach entsprechenden Laseranlagen steigern wird.



Firmen in Thailand investieren vor allem in Anlagen mit **High-Power-Lasern**.

WO STECKT DER LASER?

Im starken Rücken. Netflix und Co. sind die natürlichen Feinde des Rückens.

Sie locken ihn auf die Couch und halten ihn dort gefangen. Dann schlägt auch noch die Natur zu. Ab dem 30. Lebensjahr geht es bergab mit der Wirbelsäule, und schon klagt der Mensch über Rückenschmerzen. Da hilft vor allem regelmäßiges Krafttraining.

Aber wer sich mit wenig Ahnung ins Training stürzt, riskiert Verletzungen!

Lieber sachte anfangen und langsam steigern. Schlaue Geräte wie das Smart Strength der Firma EGYM sind perfekt für Fitness-Greenhorns. Sie stellen sich auf die Nutzer ein und passen die Übungen an.

Der integrierte Bildschirm zeigt mit spielerischen Animationen, ob die Bewegungen korrekt ausgeführt werden.

Die süddeutschen Metallspezialisten von Steinhart fertigen die Rahmenbauteile per Laserrohrschneidemaschinen

und Stanz-Laser-Kombigeräten und bringen die Geräte in Form. Also: Runter

von der dummen Personal Couch und ab zum smarten Personal Coach. ■

MEHR DYNAMIKUMFANG

als herkömmliche Technik bieten optische Mikrofone. Der Trick: Eine Laserdiode mit Interferometer misst akkurat auch kleinste Schwingungen einer Silikonmembran aus, ohne Eigenrauschen. Die norwegische Firma sensiBel baut solche Systeme auf gerade mal einem Kubikmillimeter – perfekt für Handy, Headset und Co. Damit halten Sie jetzt Straßenkonzerte, Gespräche und Videoton in Tonstudioqualität für die Ewigkeit fest.



Dezibel

TRUMPF



LASERCOMMUNITY.36 erscheint im Frühjahr 2023.

Jetzt abonnieren und keine Ausgabe mehr verpassen: trumpf.com/s/lc-abo