

LASER COMMUNITY.

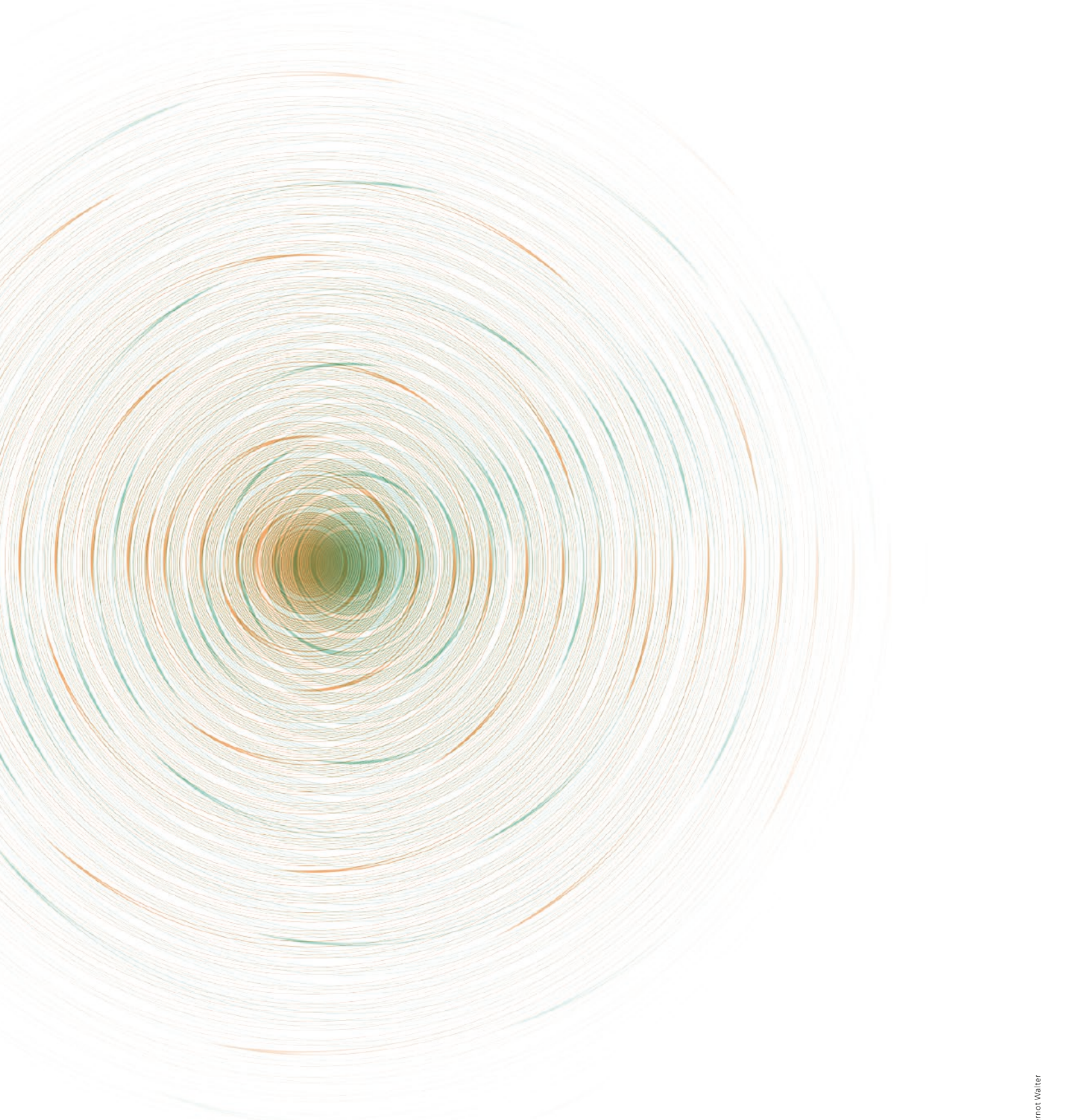
Über Menschen und Photonen

In Attosekunden zum Nobelpreis

In Anne L'Huilliers Welt dauern Wimpernschläge eine Ewigkeit. Die Nobelpreisträgerin spricht im Exklusivinterview über Unerklärbares und das Filmen fliegender Elektronen.



#37



LASER COMMUNITY. #37

AUSGABE Herbst 2023 **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 Florian Burkhardt, Thilo Horvatitsch, Martin Reinhardt, Maria Seidenkranz, Sebastian Stamm, Sue Strickrodt

FOTOGRAFIE UND ILLUSTRATION Fiumu, Tobias Gerber, Jan Hosan, Florian Jaenicke, Maximilian Schlosser, Marta Soul, 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



Liebe Leserinnen und Leser,

der Blick in den Nachthimmel fasziniert wohl jeden: Sternbilder, die Milchstraße, der Mond. Durch technologische Entwicklungen der letzten Jahrzehnte wie etwa Forschungs-satelliten rückten die Tiefen des Weltalls immer näher an uns heran. Durch ihr Licht verraten Sterne heute viele spannende physikalische Eigenschaften wie ihre Temperatur oder ihre chemische Zusammensetzung. Ein noch viel detaillierterer Blick ins All gelingt nun durch eine Entwicklung der deutschen Forscher Hartmut Grote, Henning Vahlbruch und Benno Willke. Die drei Laserphysiker ermöglichen es, Gravitationswellen zu messen, und belegen damit erstmals die Existenz von schwarzen Löchern. Über diesen bahnbrechenden Fortschritt berichten wir *auf Seite 23*.

Einen wohl noch spektakuläreren Durchbruch in der Laserphysik finden Sie *ab Seite 26*. Der berühmte Wissenschaftler Werner Heisenberg stellte 1925 fest, dass es unmöglich sei, die Position und die Umlaufbahnen eines Elektrons im Wasserstoffatom zu beobachten. Die Elektronen seien einfach zu schnell, denn sie bewegen sich im Zeitraum von Attosekunden. Daran zweifelte lange niemand, bis Anne L’Huillier das Unmögliche möglich machte. L’Huillier entdeckte 1987, dass sozusagen „Obertöne“ des Lichts entstehen, wenn sie infrarotes Laserlicht durch ein Edelgas schickt. Die Erforschung dieses Phänomens erlaubte weitere Experimente und Durchbrüche und die Erzeugung von superkurzen Lichtpulsen. Dank ihrer Arbeit lässt sich zwar nicht die genaue Position, wohl aber die Dynamik von Elektronen in Atomen und Molekülen sichtbar machen. Für ihre Forschung erhielt L’Huillier 2023 gemeinsam mit Pierre Agostini und Ferenc Krausz den Nobelpreis für Physik— was für eine enorme Lebensleistung! Ich freue mich, dass uns die frischgebackene Nobelpreisträgerin in einem Exklusivinterview Einblick in ihre Arbeit gewährt.

Doch auch für praktische Anwendungen des Lasers finden Sie in dieser Ausgabe wieder viele Beispiele. Da wäre etwa ElringKlinger: Das Unternehmen bearbeitet Endoskop-Schläuche aus Teflon mit unseren Femtosekundenlasern für den chirurgischen Gebrauch. Oder der Automobilzulieferer Webasto, der beim Schweißen von Kupferbauteilen für die Elektromobilität auf Laser mit grüner Wellenlänge vertraut.

Ob Sie die Grenzen der Physik ausloten, mit Lasertechnik sichere und alltagstaugliche Produkte schaffen oder sich von der Photonik einfach nur faszinieren lassen möchten — beim Lesen dieser Ausgabe wünsche ich Ihnen in jedem Fall viel Freude.

DR. RER. NAT. HAGEN ZIMER

Chief Executive Officer Laser Technology

Mitglied des Vorstands der TRUMPF SE+Co. KG



Film

Weil Laserphysikerin Anne L'Huillier den Zukunftspreis der Berthold Leibinger Stiftung gewinnt, entsteht ein Video über ihre Forschung. Die *Laser Community* ist dabei und hat fotografiert. Den Film gibt's hier: [you.tubeGazhEf8tcf0](https://www.youtube.com/watch?v=GazhEf8tcf0), den Artikel ab **Seite 26**.



Kamera

Auf der Suche nach einem Fotografen für South Yorkshire stießen wir auf Marta Soul. Eigentlich ist Fotokunst eher ihr Ding, aber sie hatte Lust, sich auch einmal in der Industrie zu versuchen. Zum Glück, finden wir! Die Bilder gibt es ab **Seite 24**.



Bild

Als wir Vahid Babaei fragten, ob er uns mit seinem Kunst schaffenden Laser auch das vorige Titelbild der *Laser Community* machen könnte, hieß es: „Ja, klar!“ Wir haben es ihm digital an die Wand gehängt auf **Seite 20**.

Max-Planck-Institut Saarbrücken, Marta Soul, Maximilian Schlosser

LASER



Die Magaziniker & Ki, Fotogloria | Tobias Gerber

COMMUNITY.

THEMA

10 SIE HABEN EIN MATCH!

Beim Branchen-Tinder finden jetzt immer öfter Automobilzulieferer und Medizintechnik-Unternehmen zusammen. Denn dank Lasertechnologie hat der eine genau das, wonach der andere sich schon lange sehnt.

6 Drei Laser für ein warmes E-Mobil

Die beste Heizung für E-Autos gibt es nur, weil Webasto gleich drei Hightech-Laserverfahren einsetzt.

17 Bombe entschärfen, aber sicher

Der Laser räumt die gefährlichen Reste des Krieges auf.

18 AHEAD

Eine Software bringt dem Laser farbige Markierungen bei.

20 Mit dem Auftrag zur Feinstaubbremse

Ein Update fürs Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen spart Geld und verringert den Abrieb von Brems scheiben.

22 POWER

3D-Druck aus Kupfer sorgt beim CERN für günstigere Teilchenbeschleuniger.

23 GLORY

Nur weil drei deutsche Forscher lernten, Licht zu quetschen, sehen Astronomen so viel vom All wie noch nie.

24 Working Class Hero

Peter Brown will Job-Shopper für 3D-Druck werden. Und damit in Großbritannien ein Imperium aufbauen.

26 „Wie kann man sich Attosekunden vorstellen? — Gar nicht.“

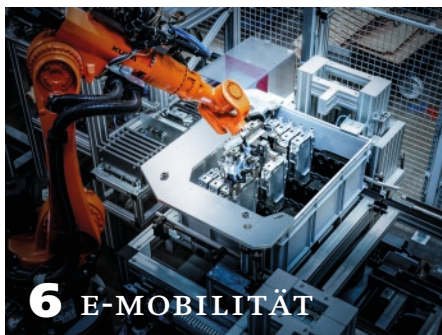
Die frischgebackene Physiknobelpreisträgerin Anne L’Huillier erzählt, wohin die Forschung mit den kürzesten Laserblitzen der Welt führt.

30 LASERLAND

So lasert Irland.

31 WO STECKT DER LASER?

Im Mountainbike-Sprung.



6 E-MOBILITÄT



17 BOMBE BESEITIGEN



26 LASERPHYSIK

3 LASER FÜR EIN WARMES E-MOBIL

Einer von
Webastos
Lasertricks:
Scanner werfen
ultrakurze
Laserpulse auf
eine dünne
Schicht
und tragen
sie ab.

Die Heizung im E-Auto ist eine hochkomplexe Komponente und immens wichtig für die Performance des Wagens. Der deutsche Automobilzulieferer Webasto hebt sie nun auf ein ganz neues Level. Dazu setzt er gleich drei High-End-Laseranwendungen ein.

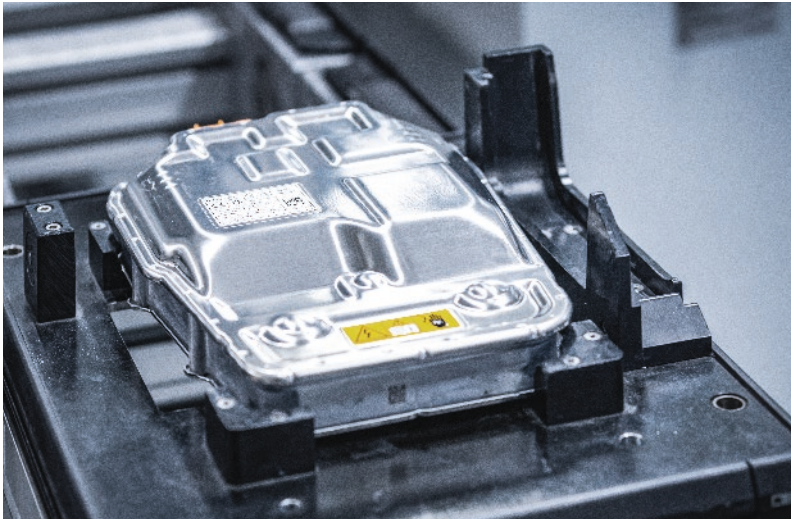
Kaufen Sie sich ein neues Elektrofahrzeug, dann verschwenden Sie wohl keinen Gedanken daran, wie oder ob die Heizung darin funktioniert – Sie setzen es voraus. Im Elektroauto

sorgt die Heizung für Komfort und eisfreie, klare Scheiben. Außerdem verbessert sie den Wirkungsgrad der Batterie, die bestimmte Temperaturen bevorzugt.

E-Motoren produzieren beim Fahren keine verschwenderische Abwärme wie Verbrenner. Das bedeutet, das Fahrzeug benötigt in jedem Fall eine eigenständige Zusatzheizung mit entsprechender

Leistung. Mit dem Strom der Batterie erhitzt sie ein Trägermedium, klassisches Kühlwasser oder Batterie-Öl, und sorgt damit für mollige Wärme. Wie bei allen anderen Komponenten gilt auch für die Heizung: Je kompakter und leichter, desto besser. Der deutsche Hersteller Webasto hat bei diesen Kriterien die Nase vorn.

Und mit seiner neuen Hochvoltheizung legt der Marktführer in Sachen automobiler Heiztechnik noch mal eine Schippe drauf. Angepasst an verschiedene Bordnetzspannungen und stufenlos in der Leistung regelbar, trägt sie auch noch zur Bordnetzstabilisierung bei. Drei Laseranwendungen ermöglichen dieses innovative Produktdesign und ihre herausragenden Eigenschaften. →



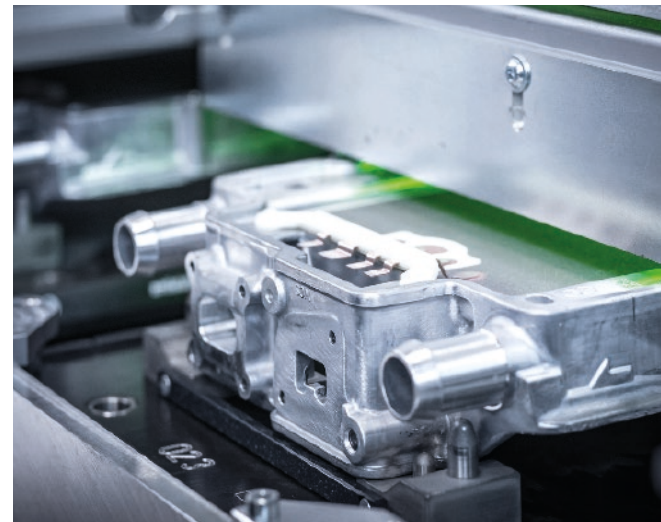
LASER 1

ALUMINIUM GASDICHT SCHWEISSEN

Jörn Schmalenberg ist verantwortlich für das Manufacturing Engineering der elektrischen Heizgeräte am Standort Neubrandenburg. Dort entstehen 95 Prozent der Heizkomponenten im Produktportfolio des Automobilzulieferers – sowohl für Verbrenner als auch für E-Autos. Das sind Millionen Stück, die Webasto mit zuverlässigen Hochleistungslasern fertigt und anschließend global verschickt. „Das Grundprinzip für E-Auto-Heizungen ist zunächst einmal altbekannt: Der Wärmetauscher erhitzt eine Flüssigkeit, die durch Heizleitungen verteilt wird. Kühlwasser und Hochspannung vertragen sich nicht. Darum ist es zwingend notwendig, dass das Gehäuse unserer Heizung absolut dicht ist und keine Flüssigkeit austritt.“ Webasto nutzt ein leichtes Aluminium-Druckgussgehäuse. Um diesen Werkstoff dicht zu schweißen, wäre das klassische Elektronenstrahlschweißen im Hochvakuum viel zu langsam und zu teuer. Das laseraffine Unternehmen nutzt deshalb lieber einen Scheibenlaser, der auch unter atmosphärischem Druck ohne Schutzgas arbeitet. Und das möglichst schnell und leistungsstark, denn: Das A und O ist eine porenfreie Schweißnaht. Trödelt ein Laser leistungsschwach herum, können sich im schmelzenden Grundwerkstoff Poren bilden und sammeln – das Gehäuse leckt. „Wir setzen ein bisschen auf die Holzhammermethode mit dem 16-Kilowatt-TruDisk und lassen den Gasbläschen erst gar keine Zeit, sich zu bilden.“ Entscheidend dafür ist, dass der Laser ein möglichst großes Keyhole erzeugt. „Eine hohe Laserleistung sorgt für ein stabiles Keyhole. Es ist das Prinzip: Viel hilft viel“, sagt Schmalenberg. Momentan ist Webasto damit sehr zufrieden, prüft aber bereits den Mehrwert der neuen Multifokusoptik für diese Anwendung. Sie splittet den Laserstrahl in vier einzelne Spots. Diese bilden ein Viereck und sind so angeordnet, dass sich ihre Wirkradien überlappen und ein richtig großes Keyhole entsteht. Die Laserleistung verteilt sich hier gleichmäßig auf die gesamte Wirkfläche. Das Keyhole bleibt konstant offen, nichts kollabiert, es gibt keine Prozessporen.

„Wenn's ums Kupferschweißen geht, setzen wir konsequent auf den grünen Laser. Nichts anderes mehr.“

Jörn Schmalenberg, Webasto



LASER 2

KUPFER KONTAKTIEREN MIT GRÜNEM LASER

Ist das Gehäuse gasdicht verschweißt, kontaktiert Webasto die Heizelemente. Damit der Strom ordentlich fließen kann, braucht es Kupfer. „Die Fügepartner wie das verwendete Kupfer sind allerdings hochgradig reflektiv, das erschwert das Schweißen per Laser enorm.“ Ähnlich wie bei Batteriezellen reagiert Webastos Heizungssystem nicht gut auf zu tiefe Schweißnähte, die die anderen Schichten verletzen könnten. „Wir müssen daher die Einschweißtiefe des Lasers exakt regulieren können. Mit dem klassischen Infrarot-Laser kamen wir hier nicht weiter“, erzählt Schmalenberg. Die grüne Wellenlänge der TRUMPF Laser hat einen größeren Absorptionsgrad im Kupfer. Mit der richtigen Pulssequenz lassen sich Einschweißtiefen extrem wiederholgenau realisieren – spritzerfrei und ganz ohne Schutzgas. Der TruDisk Pulse 421 schafft das mit vier Kilowatt bei Pulsdauern im Millisekundenbereich. Schmalenberg ergänzt: „Wir hatten bei mehreren Millionen Bauteilen noch keinen Fehler, und es läuft alles insgesamt deutlich entspannter. Wenn es ums Kupferschweißen geht, machen wir nichts anderes mehr: Wir setzen konsequent auf grüne, gepulste Systeme. Infrarot ist passé.“

LASER 3

HOCHEXAKTER SCHICHTABTRAG

Wenn Webasto mit der Arbeit am Kupfer zufrieden ist, geht es darum, die eigentlichen Heizelemente in Form zu bringen. Hier kommt ihre speziell entwickelte Dünnschichttechnologie zum Tragen: Webasto setzt Leiterbahnen nicht auf, sondern bringt die Struktur einfach direkt in eine dünne Metallschicht ein. Das macht die Heizung maximal flach. „Hier geht es um höchste Präzision beim Strukturieren des Materials, damit der Laser nicht zu tief arbeitet und in die Schichten darunter eindringt“, erklärt Schmalenberg, der dafür auf TruMicro Ultrakurzpuls laser setzt. „Beim Strukturieren möchten wir einen sauberen Abtrag und exakte Kanten. Es darf zu keiner Materialaufschmelzung kommen, um keine Produktfehler zu riskieren. Die Ultrakurzpuls laser wandeln das Material direkt vom festen zum gasförmigen Zustand um und machen das flache Produkt design so erst möglich.“



→ Wenn die Heizung superflach ist, kann sie auch ganz nah an den Kühlwasser führenden Komponenten verbaut werden. „Wir haben wegen der räumlichen Nähe eine extrem kurze Reaktionszeit, um die Wärme ins Wasser zu bringen. Durch den besonderen Aufbau lässt sich auch die Heizleistung nahezu stufenlos regulieren – sowohl mit 400 Volt als auch mit 800 Volt. Das hat vor uns noch keiner geschafft“, sagt Schmalenberg stolz. Zusätzlich funktioniert die Heizung bei Spannungsspitzen wie ein kleiner Kondensator und trägt darum auch noch zur Stabilisierung des Bordnetzes im E-Fahrzeug bei.

Für ein Unternehmen wie Webasto, das im Hochlohnland Deutschland produziert, ist ein hoher Automatisierungsgrad mit viel Laser notwendig. Ebenso wie ein hoher Innovationsgrad, zum Beispiel durch neue Lasertechnologien. Das macht Webasto zum gefragten Player weltweit. „Sie können davon ausgehen, dass fast keines der global produzierten E-Autos ohne die erstklassigen Elektrotechnik-Komponenten europäischer Hersteller wie uns vom Band geht.“ ■

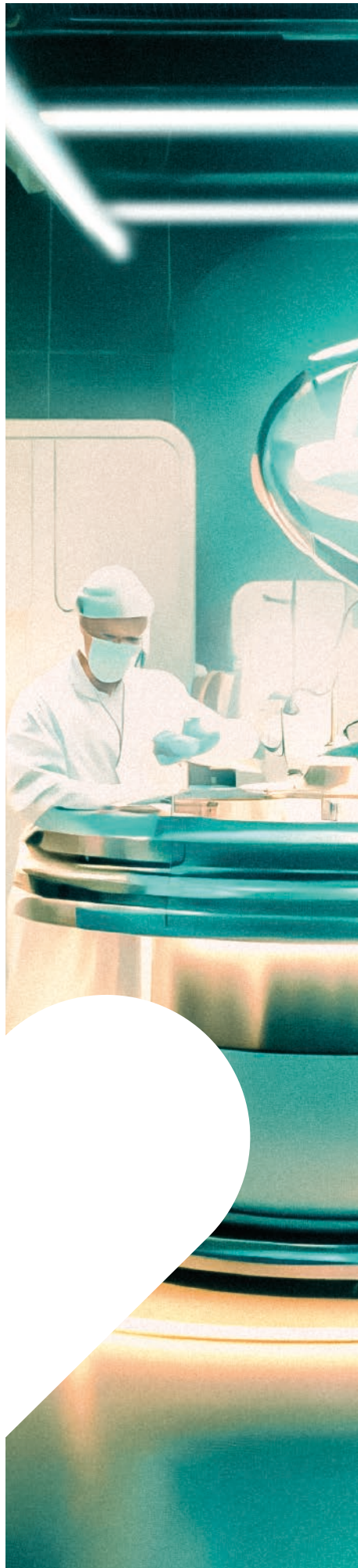
Jörn Schmalenberg und sein Kollege Knut Hoffmann haben es geschafft: Sie bauen jetzt die beste Heizung für E-Autos.



Kontakt: Webasto Group, Jörn Schmalenberg, Manufacturing Engineering, Telefon: +49 395 5592-276, joern.schmalenberg@webasto.com

W

WEBASTO produziert und vertreibt seit Jahrzehnten verschiedene Komponenten für die Automobilindustrie, und das mittlerweile über 50 Standorten weltweit. In den Segmenten Heizungssysteme für Verbrenner und innovative Dachsysteme ist der Hersteller Marktführer, mit 70 Prozent Marktanteil in Europa. Dabei steht das Thema E-Mobilität mit E-Heizungen, Batterien und Ladelösungen schon seit 2012 auf dem Plan. Um konstant neue Ideen zu entwickeln und schnell auf den Markt zu bringen, setzt Webasto in Landesförderprojekten auf die Zusammenarbeit mit der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt und dem Fraunhofer IGP in Rostock.





SIE HABEN EIN MATCH

Klassische Automobilzulieferer wollen eine neue, langfristig orientierte Branche.

Medizintechniker suchen jemanden, der zuverlässig ist und ihre Bedürfnisse wahrnimmt. Dank Laser ist das ein perfektes Match.

B

Beim Branchen-Tinder finden immer wieder Autozulieferer und Medizintechnik-Unternehmen zusammen. Denn die Medizintechnik hat das, wonach sich die Zulieferer sehnen: hohe Wachstumsraten und Gewinnmargen, stabile Prognosen für die kommenden Jahre, langfristige Vergütungsmodelle. Die alten Endkunden, die Automobilgiganten, stecken ja gerade mitten in der Transformation zur E-Mobilität. Und die Weiterentwicklung von Bord-Software ist ihnen zurzeit wichtiger als die von Bremsschläuchen. Beides mischt die Karten neu für die etablierten Zulieferer. Was werden die Zulieferer den OEMs morgen zu welchem Preis überhaupt noch verkaufen? Kein Wunder also, dass die Autozulieferer und zugehörige Maschinenbauer sich nach einem zweiten Standbein umschauchen, das sie absichert. Und darum swipen einige bei der Medizintechnik erfreut nach rechts.

AUTOMATION UND PREISDRUCK Die Medizintechnik ihrerseits kommt gerne zum Date. Denn sie möchte einen neuen Partner finden, der zu ihren Anforderungen passt. Seit je sind das folgende: Die Partner sollen mit komplexen Entwicklungsprozessen, viel Dokumentation und gesetzlichen Anforderungen zurechtkommen. Sie sollen Produkte mit langen Lebenszyklen liefern und Teileverfügbarkeit und Wartungsmöglichkeiten über Jahrzehnte hinweg gewähren. Das beherrschen die Automobilzulieferer vom Kerngeschäft aus dem Effeff. Schon mal gut.

Neu in der Medizintechnik-Branche ist, dass Automation und Volumen in der Produktion eine immer größere Rolle spielen, um der schneller werdenden Entwicklungszyklen und der hohen Nachfrage Herr zu werden. Zudem steigen in den letzten Jahren neue Marktteilnehmer mit günstigen Produkten ein. Für die etablierte Medizintechnik heißt das, dass sie dem Faktor „Preis pro Stück“ heute mehr Bedeutung zu messen muss als früher, um die Konkurrenz auf Abstand zu halten. Hohe Volumen, effiziente Produktion – wer, wenn nicht die gestählten Automobilzulieferer, könnte das am besten?

GELASSEN BLEIBEN Das denkt sich auch Stephan Kowalski vom neu eingerichteten Center of Excellence Medical der Grob-Werke, einem Anlagen- und Maschinenbauer mit Schwerpunkt Automobilindustrie: „Wir wissen, dass wir die hohen Anforderungen in der Medizintechnik an Produktsicherheit und Verfügbarkeit verstehen. Wir haben zum Beispiel durch die vielen Jahrzehnte in der Automobilindustrie unzählige Kniffe und Methoden in petto, wie wir einen Maschinenausfall – der Horror für jeden Autobauer – weitgehend ausschließen.“ Und dank der Erfahrung aus Projekten in der sicherheitsfanatischen Aerospace-Branche bleibt Kowalski auch gelassen, wenn in der Medizintechnik umfangreiche Dokumentation und durchgehend hundertprozentige Produktqualität verlangt wird. „Deshalb richteten wir vor rund zwei Jahren unseren Fokus verstärkt auf die Medizintechnik.“

Was Grob damals noch braucht, sind ein starker Partner und ein zündender Business-Case. Also tut Grob sich mit TRUMPF zusammen. Die Idee ist, 3D-Druck, Fräsmaschine und Teilemarkierung perfekt hintereinanderzuschalten und die Herstellung künstlicher Kniegelenke so produktiv zu kriegen wie noch nie.

NEUE LASER IN DÜNNEN SCHLÄUCHEN In Bietigheim-Bissingen, rund 200 Kilometer entfernt, hat Fabian Kopp, Fachgruppenleiter in der Produktentwicklung bei ElringKlinger, eine ähnliche Idee. Er will in die Lasertechnik einsteigen, um Medizintechnik-Produkte so zu verbessern, dass sie nicht nur günstiger herzustellen sind, sondern gleich noch neue lasergenerierte Features mitbringen.

ElringKlinger ist wie die Grob-Werke ein typischer Großzulieferer von Automotive-Komponenten. Kernprodukte sind Bauteile für Antrieb, Thermomanagement und Getriebe. Fabian Kopp sagt: „Wir von der Kunststofftechnik-Gruppe haben bisher zwar schon für Medizintechnik-Unternehmen verschiedene Schläuche geliefert, aber noch nie proaktiv eigene, neue Produktideen angeboten. Das wollen wir nun ändern.“ Grund ist der Trend zur Endoskopie: Hier führt der Chirurg

teils meterlange Schläuche in den Körper ein und operiert ihn durch verschiedene im Schlauch geführte Werkzeuge von innen. Der Patient muss nicht aufgeschnitten werden und erholt sich schneller vom Eingriff. Bei Anwendungen in Darm und Magen ist das schon gang und gäbe. Jetzt nimmt sich die Medizin endoskopisch geführte OPs in engen Blutgefäßen, Nervenbahnen und im Gehirn vor. Für die Schläuche heißt das: Sie müssen viel, viel dünner werden als ihre Brüder aus der Magen-Darm-Chirurgie. Und zwar so dünn, dass eine mechanische Bearbeitung nicht mehr zu handeln ist. Deshalb sucht auch Kopp nach einem Partner und landet wie Kowalski bei TRUMPF.

TANDEMLÖSUNG FÜRS KNIE Kowalski von Grob macht sich derweil an seine Knie. Die Idee ist: Der 3D-Drucker liefert in Serienfertigung die Grundform der künstlichen Kniegelenke aus Kobaltchrom oder Titanlegierungen. Anschließend wandern die Knie in die Fünffachs-Fräse. Kowalski sagt: „Bei den künstlichen Gelenken kommt es stark auf effiziente Herstellung und Oberflächenqualität an. Die Oberflächenqualität

ist wichtig, damit die Leute später beschwerdefrei und möglichst lange ihr künstliches Gelenk nutzen können.“ Das Team bei Grob hat mit seinen Partnern hierfür einen speziellen, sogenannten konkaven Tonnenfräser entwickelt. Er fräst die Funktionsflächen in nur 30 Minuten pro Knie. Die Qualität der Oberfläche ist höher als bei Konkurrenzverfahren. Das Wichtigste aber ist: Die Bearbeitung dauert nur noch halb so lange.

„Unsere Kunden reagieren auf den Preisdruck in der Branche. So hat sich etwa in China eine Einkaufsorganisation gegründet, was die Einkaufspreise von Implantaten um rund 80 Prozent gesenkt hat. Darum ist das neue Credo der etablierten Medizintechnik: Mit neuen Verfahrenslösungen die Kosten pro Stück senken!“, erklärt Kowalski und freut sich. „Solche Anforderungen sind wir aus der Automobilindustrie schon lange gewohnt. Und können daher liefern.“

WIDER DIE REINE LEHRE Unterdessen erklärt Kopp von ElringKlinger den Experten von TRUMPF die Anforderungen an seine superdünnen Schläuche für die Endoskopie. Sie sollen teilweise weniger als einen

WEITERLESEN AUF
SEITE 16



„Die Preise für Prothesen fielen in den letzten Jahren zum Teil um 80 Prozent. Darum ist das neue Credo der Medizintechnik: Kosten pro Stück senken! Solche Anforderungen sind wir aus der Automobilindustrie schon lange gewohnt.“

Stephan Kowalski, zuständig für Medizintechnik beim Maschinenbau-Unternehmen Grob-Werke in Mindelheim

Die neue Kunst der Laserheilung: Immer mehr Lasertechnologie in der Medizin bringt genauere Diagnostik und bessere Therapien. Sechs Beispiele aus Gegenwart und Zukunft.

SEEDLASER GEGEN NIERENSTEINE

Industrielle Seedlaser haben zufällig die exakt richtige Wellenlänge, um in Wasser einzukoppeln. Interessant ist das für die Chirurgie, zum Beispiel um Nierensteine zu behandeln. Per Endoskop führt der Chirurg die Laserfaser an die Nierensteine heran. Der Lichtblitz verdampft schockartig die Flüssigkeit um den Stein herum. Die folgende präzise lokale Druckwelle zerstört den Stein.



MARKIERLASER FÜR GEWEBE-UNTERSUCHUNGEN

Ein Femtosekundenlaser mit Präzisions-Scannereinheit trägt direkt am Hightech-

Rasterelektronenmikroskop Gewebeprobe ab — berührungslos, fein oder flächig, beliebig in der Geometrie. Das beschleunigt und erleichtert die Untersuchung des Gewebes in Biowissenschaft und Diagnostik.

VCSEL ZUR BLUTZUCKERMESSUNG

Winzige Laserdioden auf einem Halbleiter, sogenannte VCSEL, werden vielfach in Smartphones verbaut. Aber sie können an der Haut anliegend auch Glukosemoleküle im Blut detektieren und damit den aktuellen Blutzuckerwert bei Diabetikern messen — ganz ohne Blutstropfen. Die Geräte werden bald so klein sein, dass man sie wie eine Uhr am Handgelenk trägt.



**DAS
GIBT
ES
SCHON**

DAS GIBT ES BALD

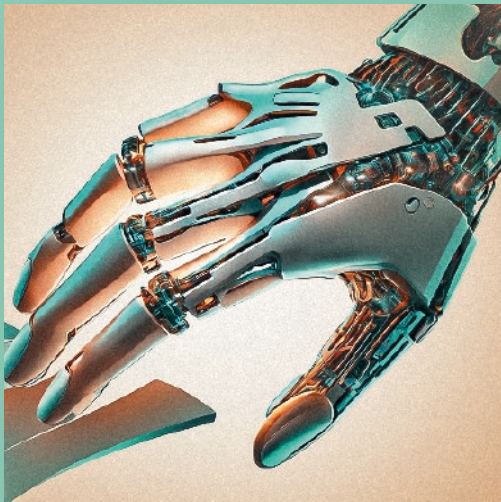


ATEMDIAGNOSE PER LASER- IONISIERUNG

Ein Laser kann gezielt

Moleküle in der Luft ionisieren und damit messbar machen (MALDI-Verfahren). Derzeit arbeiten Entwickler an Geräten, die in der Atemluft eines Patienten Moleküle aufspüren, die auf bestimmte Krankheiten hindeuten – einmal pusten genügt.

Auch ein mobiler Einsatz könnte irgendwann möglich sein.



QUANTENSENSOREN FÜR NERVENGESTEUERTE PROTHESEN

Laserbetriebene Magnetfeldsensoren auf Basis der Quantenphysik sind so sensitiv, dass sie kleinste Veränderungen von Magnetfeldern messen – sogar elektrische Nervensignale. Die Technologie funktioniert bereits – jetzt wird erprobt, mithilfe der gemessenen Nervensignale Prothesen zu steuern.

LASERINDUZIERTER STRAHLEN GEGEN KREBS

Laserbeschleuniger für Protonen sind viel kleiner und günstiger als herkömmliche. Sie passen in jedes Kran-

kenhaus. Mit den Strahlen lassen sich Krebszellen effektiv und gezielt bekämpfen, ohne dass Patienten unter schweren Nebenwirkungen der Strahlentherapie leiden wie heute noch.





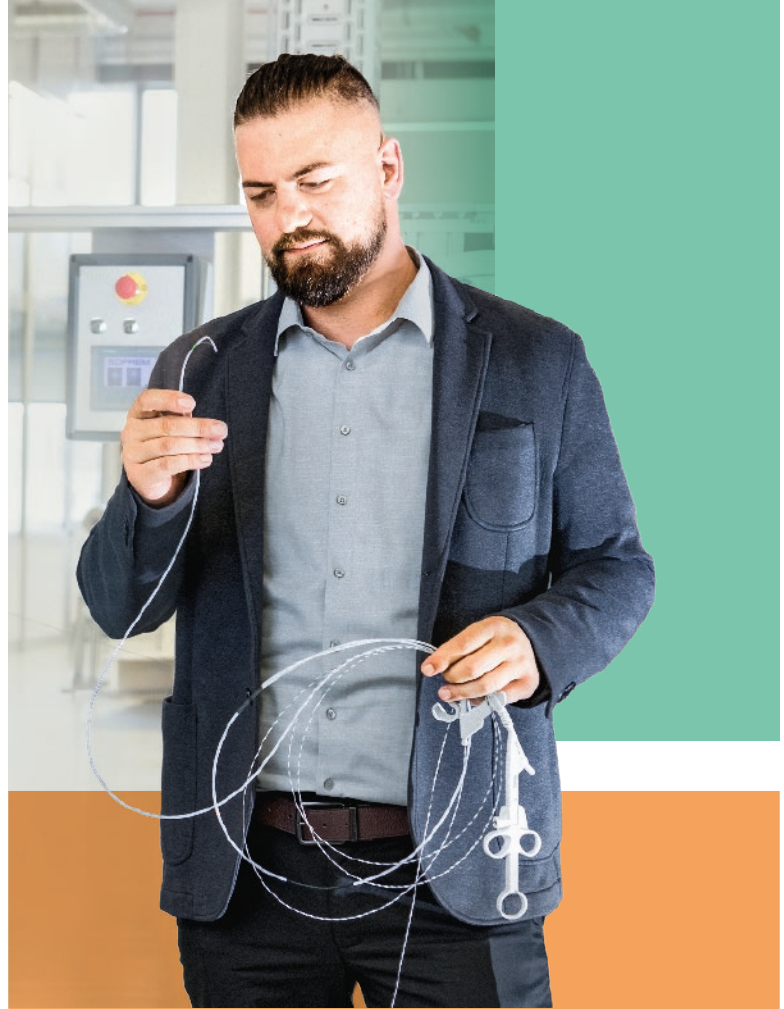
Millimeter im Außendurchmesser haben und gleich mehrere separate Kanäle für Kamera und Werkzeuge im Inneren. Zusätzlich sollen die Schläuche über kleinste Löcher an den Seiten verfügen, durch die Chirurgen zum Beispiel Medikamente versprühen können. Kopp's Problem ist: „Wir können die Löcher aber nicht fein genug bohren, ohne die Trennwände der drei innenliegenden Kanäle zu verletzen.“ Für die mechanisch eingebrachten Bohrlöcher gilt außerdem: „Die Kanten sind zu rau und würden sich in den engen Körperbahnen verhaken.“ Also möchte Kopp hier mit Laserlicht ran. Das ist keineswegs so naheliegend, wie es für Metallbearbeiter klingt. „In den meisten Handbüchern für Polymere steht, dass es unmöglich sei, diese Materialien per Laser zu bearbeiten. Entweder es passiert gar nichts, oder der Kunststoff verbrennt unkontrolliert.“

Das Polymer, um das es hier geht, heißt PTFE, besser bekannt unter dem Markennamen Teflon. Vor allem, weil er praktisch nirgendwo haften bleibt und für den Patienten vollkommen unbedenklich ist, ist es der einzige Kunststoff, der bei dieser Art Endoskopie infrage kommt. Die Experten von TRUMPF versprechen Kopp, sich die Sache mit Lasern und Polymeren noch einmal genau anzusehen. Schon nach kurzer Zeit erhält Kopp eine Einladung und macht sich auf den Weg. „Die Ergebnisse der Versuche haben mich umgehauen, so gut ging das.“ Stabile Femtosekundenlaser lassen das Lehrbuchwissen blitzartig veralten: Die Femtopulse koppeln gut in PTFE ein und hinterlassen feinste, abgerundete Schnittkanten und hochexakte, gratfreie Bohrlöcher im Polymer. „Da wusste ich, dass wir mit Lasern noch die wildesten Sachen machen werden und vom Komponentenlieferant zum Technologiepartner für die Medizintechnik aufsteigen.“

Eine von Kopp's Ideen: Die Endoskop-Schläuche brauchen Sollknickstellen. Das gelingt normalerweise, indem die Hersteller die Schläuche mit einem Metallgewebe umwickeln und die Sollknickstellen auslassen. „Mit dem Femtolaser können wir jetzt das PTFE an den Sollknickstellen gezielt ausdünnen, indem wir ein wenig Oberfläche abtragen. Das Metallgewebe – ohnehin ein zusätzlicher Risikofaktor bei der OP – können wir künftig möglicherweise weglassen. Ein günstigeres Produkt – und besser für den Patienten.“

Grob und ElringKlinger zeigen sich selbstbewusst, mit der Innovationskraft der Laser im Rücken das Beste für den neuen Kundenkreis aus der Medizintechnik rauszuholen. Es sieht so aus, dass aus der derzeitigen Affäre von Autozulieferern und Medizintechnik eine lange Liebes- und Erfolgsgeschichte wird. ■

Kontakt: Bernd Block, Branchenmanager Medizintechnik bei TRUMPF, Telefon: +49 7156 303-35903, bernd.block@trumpf.com

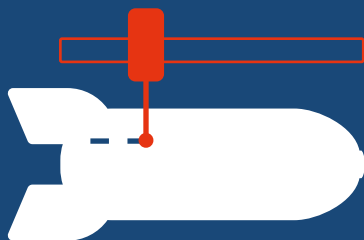


„Die Ergebnisse haben mich umgehauen. Da wusste ich, dass wir mit Lasern noch die wildesten Sachen machen werden und zum Technologiepartner für die Medizintechnik aufsteigen.“

**Fabian Kopp, Development Manager
bei ElringKlinger Kunststofftechnik in
Bietigheim-Bissingen**

Bombe entschärfen, aber sicher

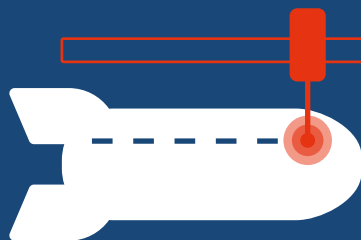
Überall wo Bomben fallen, bleiben auch nicht explodierte Blindgänger liegen – eine tödliche Gefahr über Jahrzehnte hinweg. Jetzt entschärfen Laser die Bomben einfacher und sicherer, als es bisher möglich war.



01

Bombenhülle schwächen

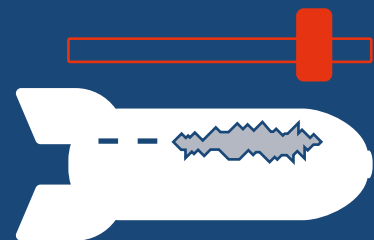
Experten vom Kampfmittelräumdienst führen den Bearbeitungskopf des Lasers auf einem lineargeführten Schlitten an die Bombe heran. Bei Bomben unter Wasser übernimmt das ein Tauchroboter. Der Laserstrahl zieht eine lange Kerbe in die Ummantelung aus Stahlblech – so exakt dosiert, dass er zwar so tief wie möglich dringt, aber nicht zum Sprengstoff durchbricht oder ihn durch zu viel Wärmeeintrag zur Explosion bringt. Diese Sollbruchstelle in der Hülle nimmt der Bombe schon sehr viel ihrer Sprengkraft.



02

Verpuffung auslösen

Am Ende der Achse angelangt, dringt der Laserstrahl nun doch in den Sprengstoff ein und erhitzt ihn so rasch, dass er nicht detoniert, sondern schlagartig verbrennt. Die dabei entstehenden Gase verpuffen. Die anschließende Druckwelle fällt gering aus und entweicht hauptsächlich über die eingeritzte Sollbruchstelle. Besonders unter Wasser versuchen die Bombenentschärfer, die Verpuffung so exakt zu setzen, dass nur ein Teil des Sprengstoffs verbrennt, dabei aber die Zündkette unterbricht. So fällt die Druckwelle noch schwächer aus.



03

Harmlose Bombenreste entsorgen

Übrig bleibt nur die kontrolliert aufgerissene Ummantelung mit ein paar Brandresten des Sprengstoffs. Sicherer ist das Verfahren, weil kein Mensch versuchen muss, vor der kontrollierten Sprengung den Zünder zu entfernen – ein hochgefährliches Manöver. Einfacher ist es, weil der Explosionsdruck bei der laserinduzierten Verpuffung viel geringer ist als bei einer kontrollierten Sprengung. Das senkt den Aufwand und die Kosten für begleitende Schutzmaßnahmen.

WIR BEFÖRDERN DEN LASER ZUM KÜNSTLER

Vahid Babaei hat eine Software entwickelt, die dem Laser farbige Markierungen beibringt.

Herr Babaei, macht Ihr Laser bald seine eigene Kunstaussstellung?

Ha! Möglich wäre es, wir können schon sehr schöne Bilder auf Metall malen – das heißt, mit dem Laser markieren.

Wie funktioniert das „Malen“ mit Laser?

Wir wissen schon lange, dass Metalle wie Edelstahl oder Titan unter Hitzeeinwirkung ihre Farbe verändern. Dabei sind verschiedene Farben möglich. Ein Laser ist ja nichts anderes als eine gezielte Hitzequelle – das heißt, wer den Laser richtig kalibriert, kann ein Bild auf Metall malen.

So logisch, so theoretisch.

Warum ist das noch nicht üblich?

Beim Color Laser Marking ist das Kalibrieren des Lasers enorm aufwendig – sehr viel Trial-and-Error. Der Experte stellt den Laser ein, dann wird ein Test gemacht. Aus den Ergebnissen zieht er Rückschlüsse auf die Kalibrierung, und justiert neu. Dann beginnt alles von vorne, bis er irgendwann an die Farben herankommt, die er haben möchte. Und beim nächsten Werkstück startet er wieder neu, denn die Parameter haben sich komplett geändert. Das ist alles sehr mühselig, und darum war es bisher wirtschaftlich nicht umsetzbar.

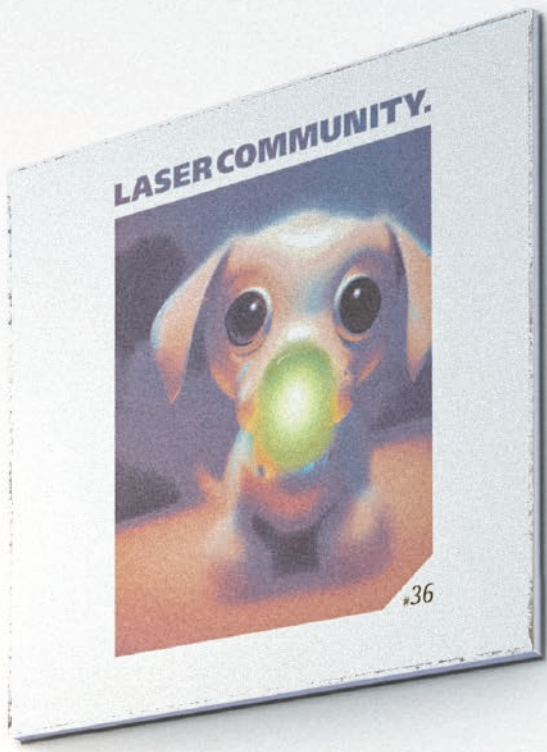
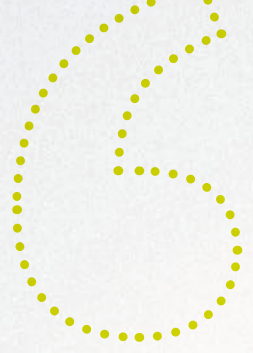
Aber dafür haben Sie jetzt eine KI entwickelt?

So ist es. Auf die Idee hat mich ein Kollege in Boston gebracht, der von einem blauen Auspuffrohr an einem Motor-



DER INITIATOR war zunächst am Bostoner MIT, bevor er ans Max-Planck-Institut für Informatik wechselte. Kürzlich erhielt er den Curious-Mind-Forscherpreis. Der zeichnet Wissenschaftler unter 40 Jahren aus, deren Arbeit akademische Exzellenz und Impulse für die Zukunft der deutschen Wirtschaft verbindet.

DIE FÖRDERER Trumpf unterstützt das Team von Oraclase nicht nur durch wertvolle Einsichten in die Anwendungsentwicklung, sondern erläutert insbesondere die industriellen Anforderungen an eine automatisierte Parameterentwicklung. Als junges Unternehmen ist Oraclase auch Teil des staatlichen EXIST-Gründerprogramms.



「 AHEAD 」

Eine KI findet die richtigen Parameter fürs Farbmarkieren heraus und kalibriert den Laser eigenständig.

rad total begeistert war und mich fragte, ob noch andere Farben möglich seien. Da habe ich überlegt: Wie bei einem Drucker, der mit CMYK, also dem Standardfarbmodell der Drucktechnik für den Vierfarbdruck arbeitet, bräuchte es eigentlich nur eine Handvoll Farben und eine Software, die das gewünschte Bild in diese Farben umrechnet. Das müsste eigentlich auch mit Lasern möglich sein. Ich habe dann recherchiert, ob es so etwas schon gibt – Fehlanzeige. Bisher haben sich die Wege der Informatik und der industriellen Produktion dahingehend noch kaum gekreuzt. Also haben mein Team am Max-Planck-Institut und ich genau dafür Algorithmen entwickelt.

Was machen Ihre Algorithmen?

Zuerst übernimmt ein evolutionärer Explorationsalgorithmus das Ausprobieren. Er lässt den Laser also auf der Grundlage zufällig ausgewählter Parameter markieren. Dann misst er die Eigenschaften des Ergebnisses aus und passt die Parameter für den nächsten Versuch an. Dabei hilft ihm unser Sortieralgorithmus: Der sortiert die leistungsstärksten Prozessparameter der Farben auf Basis bestimmter Eigenschaften wie Auflösung oder Sättigung. Der Explorationsalgorithmus übernimmt diese Best-ofs dann in seine Berechnungen des nächsten Tests und startet einen weiteren, und jetzt etwas optimierten Markierversuch. Das machen die beiden automa-

tisch so lange, bis es keine nennenswerte Verbesserung mehr gibt und das Ergebnis so nah wie möglich an der Vorlage ist.

Und das machen sie schneller als humanoide Spezialisten?

Jein, bei Routineaufgaben sind sie je nach Schwierigkeit vielleicht genauso schnell oder etwas schneller als die Spezialisten. Bei besonderen Aufgaben entwickeln unsere Algorithmen viel schneller eine eigene „Intuition“. Am Ende sind sie exakter und liefern bessere Ergebnisse. Gleichzeitig bedeutet das vor allem, dass sich der Experte in der Zeit komplexeren Problemen widmen kann als dem langwierigen Trial-and-Error-and-Repeat.

Ist da auch was für die Industrie drin?

Das Color Laser Marking, oder Lasermarkieren ganz allgemein, ist nur ein Beispiel. Ich bin überzeugt, dass hier großes Potenzial für zahllose Laserapplikationen drinsteckt – schneiden, schweißen, you name it. Im Prinzip gewinnt jede Anwendung und jeder Anwender dadurch, dass ein entsprechend entwickelter Algorithmus das Justieren übernimmt oder mindestens unterstützt. Darum haben wir jetzt auch eine eigene GmbH namens Oraclase gegründet, um unsere Algorithmen weiter zu erforschen und Partner am Markt zu finden. Also, wir sind auf einem guten Weg und haben sehr viel vor. ■

Jan Hosan



DAS TEAM Das Max-Planck-Institut in Saarbrücken ist eines der weltweit führenden Forschungsinstitute für Informatik. Durch Schwerpunkte in Bereichen wie maschinelles Lernen, Visual Computing, Datenbanken oder Programmiersprachen treiben seine Forscher die Informatik grundlegend voran.



Autor **Marco Göbel-Leonhäuser** arbeitet für das Business Development Surface Technologies bei TRUMPF und forciert das Geschäft mit HS-LMD für Bremscheiben.

Mit dem Auftrag zur Feinstaubbremse

Die EU bläst zum Kampf gegen Feinstaub von Bremsen. Die Auto- und Bremsenhersteller müssen reagieren. TRUMPF hat dafür die Technologie parat: Weiterentwickeltes Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen macht Bremscheiben zu ökologischen und ökonomischen Gewinnern.

Wer beim Autofahren öfter mal auf die Bremse tritt, schadet der Umwelt und letztlich sich selbst. Klingt absurd, ist aber Fakt. Im standardisierten Testzyklus reiben die Bremsbacken heutiger Pkw bis zu 40 Milligramm Feinstaub je Kilometer vom Belag der Scheibe. Die gemessenen Partikel sind kleiner als zehn Mikrometer, dringen sehr tief in die Lunge ein und sind äußerst gesundheitsschädlich. Die EU spricht von rund 300.000 frühzeitigen Todesfällen durch Feinstaubemissionen in Europa im Jahr 2019 – und steigt selbst auf

die Bremse. Heißt: Die geplante Abgasnorm Euro 7 will die Feinstaublast durch Bremsabrieb auf sieben Milligramm solchen Staubs je Kilometer und Fahrzeug begrenzen. Am besten schon ab Juli 2025.

Aber wie lässt sich dieser Grenzwert technisch in den Griff kriegen? Die Autoindustrie prüft derzeit eine Lösung mit viel Potenzial: die verschleißschützende Beschichtung von Bremscheiben mittels Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen (Highspeed Laser Metal Deposition/HS-LMD). TRUMPF hat seine

Variante zur Industriereife geführt und bei Entwicklungspartnern getestet. Ergebnis: Bremsabrieb und Feinstaubemission sinken unter den geforderten Grenzwert. Wie das? So viel sei verraten: Ein Teil des Geheimnisses ist eigentlich keines – und den anderen Teil zauberte TRUMPF buchstäblich aus dem Zylinderhut.

Beginnen wir mit dem offenen Geheimnis: Laserauftragschweißen ist der ideale Ausgangspunkt für diese Aufgabe. Es veredelt Metallbauteile mit Verschleiß- und Korrosions-

Die Strahlform entscheidet über die Dicke der Schicht und den Pulververbrauch.

schutzschichten schon lange. Dabei erzeugt ein Laserstrahl auf der Oberfläche eines metallenen Werkstücks lokal ein Schmelzbad. Dort hinein sprühen Düsen feines Pulver aus Metall. Im Laserlicht schmilzt das Pulver auf und verbindet sich unlösbar mit dem Grundwerkstoff. Für Bremscheiben besteht dieses Pulver in der Regel aus einem Mix aus rostfreiem Stahl und Keramik- oder Hartmetallkörnern. Aus dieser Schicht löst sich beim Bremsen weit weniger Abrieb. Für Millionenstückzahlen arbeitet das Verfahren aber zu langsam.

VON 0,5 AUF 100 PRO MINUTE Ganz anders die oben genannte Hochgeschwindigkeitsversion des Verfahrens: Hier erwärmt das Laserlicht das Pulver schon direkt nach dem Austritt aus der Düse auf seinem Weg zum Werkstück. Dieser Trick beschleunigt den Prozess enorm: von unter einem Meter auf mehr als 100 Meter Vorschub pro Minute.

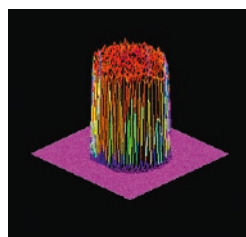
Das Fertigungstempo ist für Autobauer aber nicht alles, sie wollen auch höchste Qualität und Wirtschaftlichkeit. Damit kommen wir zum zweiten Teil des Geheimnisses, das sich die Tüftler von TRUMPF vorknöpfen: die effiziente Zufuhr der Laserenergie und des teuren Pulvermaterials. Zunächst zum Thema Laserenergie: Bringt die Maschine zu viel davon ein, noch dazu ungesteuert, können an manchen Stellen im Werkstoff zu hohe Temperaturen entstehen. Das ist Gift für die

Qualität. Temperaturspitzen führen zu Rissen in den Schichten und hohen Eigenspannungen, bei denen sich die Bremscheibe sogar verziehen kann. Die Hersteller schleifen die Bremscheibe zwar am Ende des Fertigungsprozesses, was leichte Verformungen wieder korrigiert. Dafür muss die Schicht aber etwas dicker sein als eigentlich notwendig. Und in dickeren Schichten steckt mehr Pulver. Das treibt die Kosten in die Höhe und drückt auf die Effizienz. Dickere Schichten auftragen, bringt außerdem mehr Wärme in das Werkstück und erhöht den Verzug. Schmelzen dann womöglich noch die Zusatzstoffe im Stahlpulver auf, versprödet die Schicht schnell und löst sich schlimmstenfalls beim Bremsen.

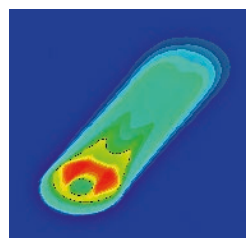
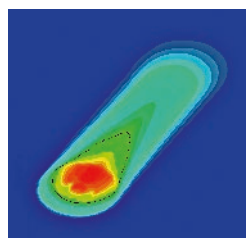
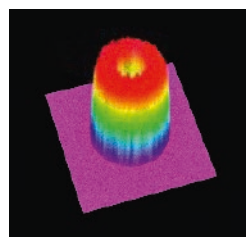
Manche dieser Risiken lassen sich eingrenzen mit einem speziellen Strahlprofil, das in einer dreidimensionalen Darstellung der Energiedichte an einen Zylinderhut erinnert – Englisch: „top hat“. Dieses Profil verteilt die eingebrachte Energie sehr gleichmäßig, ohne Temperaturspitzen. Das ist gut. Besser für den

Prozess wäre aber eine Möglichkeit, die Energieverteilung innerhalb des Profils aktiv zu steuern. TRUMPF hat deshalb das Top-Hat-Profil nochmals getoppt mit der Entwicklung des regulierbaren Top-Hat-Rings. Mit diesem patentierten Strahlformungsansatz ist die Energie je Flächeneinheit in einem Kern und in einem umgebenden Ring eines Laserstrahls über eine 2-in-1-Lichtleitfaser unterschiedlich und frei einstellbar. Der Energieeintrag lässt sich also dort erhöhen oder verringern, wo es lokal jeweils nötig ist. Ergebnis: Die Produktivität steigt, Verzugsrisiko und Rissanfälligkeit sinken. Deshalb kommt das TRUMPF Verfahren mit extrem dünnen Schichten aus – etwa 25 Prozent dünner im Marktvergleich. Dies bedeutet auch weniger Pulververbrauch – und diese Einsparung haben die Laserspezialisten weiter auf die Spitze getrieben mit ihrer patentierten Hochleistungsdüse samt robuster Laseroptik zur hocheffizienten Pulverzufuhr und -verarbeitung.

MILLIONEN IM SPARSCHWEIN Das mehrfach ausgezeichnete Verfahren von TRUMPF erfüllt die Feinstaubvorgaben und senkt die Gefahr des Bremscheibenverzugs fast auf null. Und weil die teuren Pulvermengen den Löwenanteil an den Produktionskosten ausmachen, können Bremsenhersteller Millionen Euro pro Jahr sparen. Und auch die Umwelt sagt danke. ■



LINKS: das im Hochgeschwindigkeits-Auftragschweißen gängige Strahlprofil. **RECHTS:** das von TRUMPF mit 2-in-1-Faser erzeugte Profil mit einem kontrollierbaren Ring um den Kern. So lässt sich die Temperaturverteilung im Werkstück besser kontrollieren, was Schweißfehler verhindert oder vermindert (Abb. unten rechts).



BESCHICHTUNG GEGEN VERSCHLEISS: Die Hartstoffpartikel in der aufgeschweißten Stahlschicht reduzieren den Abrieb deutlich.

POWER

Kupfer-
gedruckter
Radiofrequenz-
Quadrupol

DAS UNWAHRSCHEINLICHE TEIL

Teilchenbeschleuniger sind der Schlüssel, um mehr über unsere Welt zu erfahren und wichtige Menschheitsprobleme zu lösen. Doch sie sind teuer. Das vom europäischen Großforschungszentrum CERN koordinierte Projekt I.FAST möchte das ändern – mithilfe des grünen Lasers.



Am europäischen Großforschungszentrum CERN bei Genf betreiben Forscher den leistungsstärksten Teilchenbeschleuniger der Welt.

Die Forscher und Ingenieure des CERN suchen nach neuen Wegen, Teilchenbeschleuniger erschwinglicher und effizienter zu machen. Denn klar ist, dass die Welt günstigere Teilchenbeschleuniger sehr gut gebrauchen kann. Sie ermöglichen nicht nur Grundlagenforschung, auch in unserem Alltag vollbringen sie Wunderbares: In der Medizin dienen sie der Krebstherapie oder der Diagnose. Die Industrie könnte mit ihnen bessere Halbleiter herstellen. Und es gibt viele weitere Möglichkeiten, an die wegen der bislang hohen Anschaffungskosten noch nie jemand gedacht hat.

Im Fokus des CERN-Projekts steht eine Schlüsselkomponente: der Radiofrequenz-Quadrupol (RFQ). Das hochkomplexe Bauteil bringt den Teilchenstrahl nahezu auf Lichtgeschwindigkeit. Bislang fräsen, löten und wärmebehandeln Maschinen den RFQ in zahlreichen Fertigungsschritten. Das ist nicht nur aufwendig und teuer, sondern verhindert auch neue, innovative Designs. Denn filigrane Oberflächenstrukturen, innenliegende Hohlräume und neue Konzepte für Kühlkanäle würden RFQs so viel besser

machen! Also eigentlich der richtige Job für den 3D-Drucker. Doch es gibt zwei Probleme: Der RFQ besteht wegen der Leitfähigkeit aus reinem Kupfer – ein widerspenstiger Kandidat für den Laserdruck. Und das Teil ist rund 40 Zentimeter lang – so groß hat noch nie jemand Kupfer gedruckt bekommen. Die Forscher wenden sich an TRUMPF, die gerade eine große 3D-Druckmaschine weiterentwickelt haben – und zwar mit einem grünen Laser! Der grüne Laser hat vergleichsweise kurze Wellenlängen und koppelt gut in Kupfer ein. Kupferpulver nimmt damit genügend Laserenergie auf für feinste Strukturen und große Baugrößen in gleichbleibender Qualität. Zum ersten Mal entsteht ein RFQ, der am Stück gefertigt ist. Und die Forscher können endlich ihre neuen Designideen verwirklichen. Die Kosten sind viel geringer und die Produktion ist schneller. Wird es also demnächst einen Teilchenbeschleuniger-Boom geben? Fakt ist: Rund 30.000 Teilchenbeschleuniger gibt es derzeit weltweit. Durch gedruckte RFQs könnte die Zahl bald steigen. ■

DIE LICHTQUETSCHER

Drei Laserphysiker aus Deutschland ermöglichen es, Gravitationswellen zu messen, und belegen damit erstmals die Existenz von schwarzen Löchern. Das nächste Ziel: der Beweis von Dunkler Materie. Was man halt so macht.

「GLORY」

Quetschlicht. Was das ist? Bitte selber im Handbuch Laserphysik nachlesen, dafür reicht unser Platz nicht. Aber hier erfahren Sie, was man damit tun kann: Dinge messen, die man anders nie messen könnte.

Über schwarze Löcher reden die Menschen schon seit rund 100 Jahren. Und doch gelingt erst 2015 der physikalische Beweis, dass es sie wirklich und ganz in echt gibt: Das Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO) – zwei riesige, weit auseinanderliegende Forschungsanlagen in den USA – misst, wie zwei schwarze Löcher miteinander verschmelzen, 1,3 Milliarden Lichtjahre entfernt. Die Messung gelingt, da die Forscher erstmals Gravitationswellen auffangen können – zwei Durchbrüche der Astronomie auf einmal!

Möglich machen dies unter anderem die ultrapräzisen Strahlquellen, die drei deutsche Wissenschaftler in Hannover entwickelt haben: Hartmut Grote von der Cardiff University, Henning Vahlbruch vom Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Potsdam und Benno Willke von der Leibniz Universität Hannover. Kernstück des LIGO sind hochempfindliche, kilometerlange Laserinterferometer, die anhand winzigster Stauchungen der Raumzeit Gravitationswellen detektieren. Schon wenige Photonen hin oder her machen eine Messung unbrauchbar. Abhilfe schaffen

unfassbar gleichmäßige Laser. Willke sagt: „Diese Laser brauchen eine extrem hohe Leistung, außergewöhnlich hohe Stabilität und müssen eine sehr hohe Verlässlichkeit haben. Diese Kombination gibt es weltweit nur einmal, sodass wir mit Fug und Recht sagen können, dass wir hier die stabilsten Laser der Welt haben.“ Jahrelange Grundlagenforschung und Entwicklung, unzählige Prototypen und ein Testlauf über volle zwölf Monate dauert es, bis ein Schiff den Laser aus Deutschland abholt und in die USA bringt.

Ein essenzielles Geheimnis der Strahlquelle ist das eingangs erwähnte Quetschlicht. Vahlbruch erklärt: „Beim Prozess des Quetschens manipulieren wir die Quantennatur des Lichts und dringen in eine Welt ganz anderer Laserquellen vor.“ Dinge werden messbar, die zuvor jedem Nachweis entschlüpft sind. Wie eben Gravitationswellen.

Und vielleicht auch bald Dunkle Materie, eines der großen Mysterien der Physik. Daran arbeitet Grote gerade mit der Technologie aus Hannover: „Ob wir da was finden, wissen wir nicht. Aber wenn, wäre das natürlich sensationell.“

Im September 2023 erhalten Hartmut Grote, Henning Vahlbruch und Benno Willke für ihren heftigen Umgang mit Photonen den Innovationspreis der Bertold Leibinger Stiftung. ■

Die drei von der Quetschlichtgruppe: Hartmut Grote, Henning Vahlbruch und Benno Willke.





Peter Brown hat sich mit seiner Firma Laser Additive Solutions hochgearbeitet. Doch er hat noch nicht genug. Sein Traum: sein eigenes 3D-Druck-Imperium in England.

Peter Brown hat seit vielen Jahren ein bestimmtes Bild im Kopf: Die Abendsonne wirft orangerotes Licht durch die Scheiben seines Fabrikgebäudes, und es leuchten Reihen um Reihen 3D-Druckmaschinen, die fleißig Pulverkörner zu Hightech-Bauteilen verschweißen. Darum hat Brown nach seiner Zeit am britischen Welding Institute 2015 sein Unternehmen Laser Additive Solutions gegründet. Seine Spezialität: Die Reparatur von Teilen aus schwer zu verarbeitenden Materialien wie etwa Wolfram für Nukleartechnik, Luft- und Raumfahrt und Kernfusions-Forschung.

HARTE ARBEIT FÜR DAS NÖTIGE KAPITAL

Das Unternehmertum liegt Brown im Blut, die Voraussetzungen aber waren schlecht. Brown sagt: „Seit meinem ersten Job träume ich davon, ein eigenes Unternehmen aufzubauen. Aber meine Familie kommt aus der Working Class und mir fehlte lange das Kapital.“

Das musste er sich buchstäblich erarbeiten: „Um das Geld zusammenzubekommen, habe ich in meiner Freizeit Häuser renoviert und verkauft.“

2015 kommt die Gelegenheit, sein hart erarbeitetes Kapital gewinnbringend einzusetzen. Brown entdeckt eine Schweißmaschine auf eBay und sagt sich: „Wann, wenn nicht jetzt?“, kauft sie und bestellt einen nagelneuen 2-kW-Scheibenlaser als Strahlquelle dazu: Aus Maschine und Scheibenlaser macht er seine Laser Cell Number One. Damit steigt Brown ins Geschäft des Auftragschweißens ein. „Ich hatte noch Kontakte und habe gute Aufträge bekommen. Das waren hauptsächlich Kraftwerksventile, Triebwerks- und Turbinenteile“, erzählt er. Das Unternehmen wächst. Brown stellt Mitarbeiter ein und investiert in eine zweite Maschine. Aber Brown will noch weiter. Er beschließt, seine Laser nicht nur für das Auftragsschweißen, sondern auch für normale Schweißjobs zu nutzen. „Wir haben ein

3D-DRUCK

Peter Brown (linke Seite) ist zuversichtlich, was die Zukunft seines wachsenden Unternehmens und des 3D-Drucks im Vereinigten Königreich angeht. Mit seiner neuen 3D-Druckmaschine und einer ausgeprägten Hands-On-Mentalität arbeiten er und sein Team jeden Tag daran.



bisschen ausprobiert und festgestellt, dass unsere Laserzellen auch hervorragend schweißen können. Wir mussten nur die Pulverzufuhr abstellen.“

WER SETZT AUF 3D-LOHNFERTIGER? Brown hat noch nicht genug. Ein 3D-Drucker, der im Pulverbettverfahren arbeitet, findet seinen Platz in seiner Fabrikhalle. Er glaubt fest an die Technologie. „Ich kann mir einfach keine Welt vorstellen, in der 3D-Druck nicht von großer Bedeutung sein wird“, sagt Brown. Potenzial für die 3D-Drucktechnik sieht er vor allem in den Bereichen Aerospace, Medizintechnik und Energieerzeugung: „Die Branchen haben eine wichtige Gemeinsamkeit: Bauteile mit komplexen innenliegenden Strukturen aus speziellen Werkstofflegierungen. Viele davon lassen sich wesentlich günstiger oder überhaupt erst durch 3D-Technik anfertigen. Auch die Anforderungen an Engineering, Sicherheit, Qualität und Dokumenta-

tion sind vergleichbar hoch.“ Die entscheidende Frage ist aber: Sind die Branchen bei so hohen Anforderungen bereit, auf Lohnfertiger für 3D-Druck zu setzen? Brown sagt: „Ja. Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass das in der Aerospace gelingt. Die Unternehmen sind es gewohnt, mit Partnern zu arbeiten. Das gilt für ‚Aero‘ und wird sich sicher auch für ‚Space‘ etablieren.“ In der Medizintechnik sei die Entwicklung noch offen: „Im Medizin-Sektor haben wir bisher noch keine Erfahrung. Da wird es auf Überzeugungsarbeit ankommen.“ Ist es also riskant, auf der Insel auf 3D zu setzen? Brown bleibt nüchtern: „Natürlich ist es ein Risiko. Der britische 3D-Markt bildet sich ja gerade erst. Aber wenn wir jetzt investieren, sind wir bereit, wenn die erste Welle an Aufträgen kommt.“ ■

Kontakt: Laser Additive Solutions Ltd, Peter Brown, Telefon: +44 1302 868 988, peter.brown@laseradditivesolutions.co.uk

**Prof. Anne L'Huillier
— Physiknobelpreis-
trägerin 2023 — erzählt,
wohin die Forschung
mit attosekunden-kurzen
Laserpulsen führt
und was die Industrie
davon hat.**

**„Wie kann
man sich
Attosekunden
vorstellen? —
Gar nicht.“**

”

Prof. Anne L'Huillier hat einst das Tor zur Physik der Attosekunden-Laserpulse aufgestoßen. Mit ihrer Forschung rückt sie jetzt den Elektronen auf die Pelle.



Frau L'Huillier, wenn Sie auf einer Grillparty gefragt werden, was Sie beruflich machen:

Was antworten Sie?
Ich habe mir für solche Situationen eine Antwort zurechtgelegt, mit der ich ganz

zufrieden bin. Ich sage also: Ich arbeite an der Schnittstelle von Laserphysik und Atomphysik. Unser Team benutzt kurze, sehr, sehr kurze Laserpulse wie ein Blitzlicht

bei Kameras. Damit filmen wir extrem schnelle Bewegungen, zum Beispiel von Elektronen.

Mit sehr, sehr kurzen Laserpulsen meinen Sie ... ?
Pulse, die ein paar Attosekunden lang sind.

Wie kann ich mir Attosekunden vorstellen?

Gar nicht. Es gibt verschiedene Versuche, die Kürze der Zeitspanne anschaulich zu machen. Der Vergleich, den ich manchmal benutze, geht so: Eine Attosekunde verhält sich

„Wir wollen irgendwann einmal die Elektronen bei chemischen Reaktionen kontrollieren.“

zu einer Sekunde, wie eine Sekunde zum gesamten Alter des Universums, also zu 14 Milliarden Jahren. Aber hilft das wirklich weiter? Da bin ich skeptisch. Hilft es Ihnen?

Na ja, ein bisschen vielleicht.

Wir müssen einfach ertragen, dass sich das mit unserem menschlichen Gefühl von Zeit nicht begreifen lässt. Zum Glück sind wir darauf aber auch gar nicht angewiesen. Denn wir besitzen ja die abstrakten Methoden der Mathematik und Theorie sowie das praktische Experiment. Eine Attosekunde ist also schlicht 10^{-18} Sekunden lang. Viel interessanter, als über die Länge einer Attosekunde

nachzudenken, ist die Frage, warum wir überhaupt in so kurze Zeitskalen dringen wollen.

Gut. Wozu brauchen wir Attosekunden-Pulse?

Es gibt Vorgänge in der Natur, die so schnell ablaufen, dass wir sie nur mit Attosekunden-Lichtpulsen messen können. Die wichtigsten sind die Bewegungen von Elektronen. Je kürzer unser Blitzlicht, also der Puls, desto genauer beobachten wir den Vorgang. Meine Forschungsgruppe erfasst derzeit hauptsächlich noch Vorgänge in und um simple Atome, denn das ist einfacher. Wenn wir noch ein Stück besser werden, wird es möglich sein,

Elektronenbewegungen in komplexeren Systemen zu beobachten, zum Beispiel in Molekülen. Chemische Reaktionen passieren, indem sich Elektronen bewegen. Diese Initialbewegungen werden einmal messbar sein.

Und dann?

Etwas messen zu können, ist der erste Schritt, um etwas kontrollieren zu können. Das große Fernziel ist also, irgendwann chemische Reaktionen auf Elektronenebene zu kontrollieren.

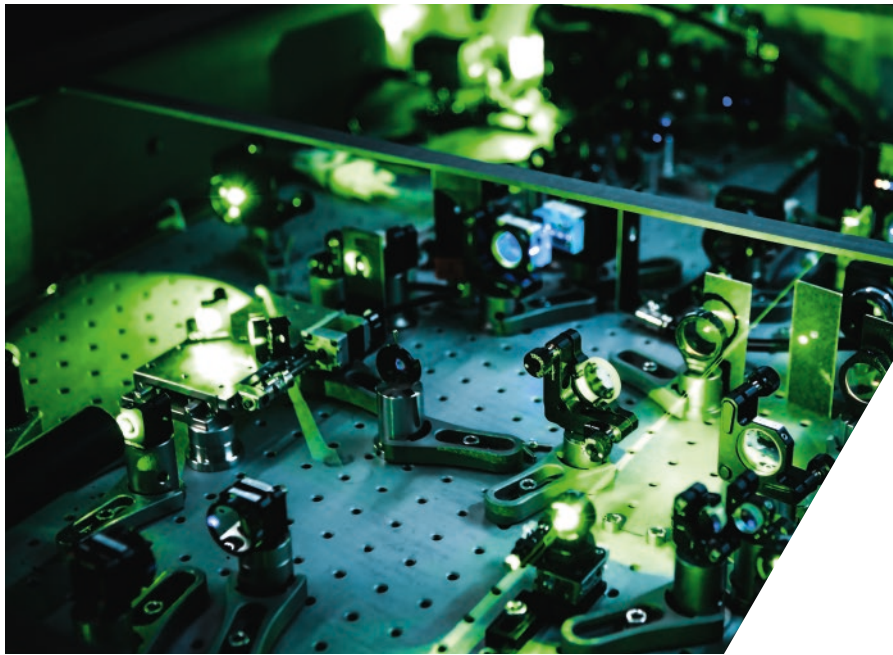
Was wird damit möglich sein?

Es ist schwer, eine wohldefinierte Vision zu geben. Es ist eben Grundlagenforschung.



Anne L'Huillier ist Professorin für Atomphysik an der Universität Lund in Schweden. Sie gilt als eine der wichtigsten Mitgründer der Forschungsrichtung der Attosekunden-Physik. L'Huillier erhält 2023 für ihre Forschungsleistung den Zukunftspreis der Berthold Leibinger Stiftung. Ein paar Tage später wird ihr gemeinsam mit Pierre Agostini und Ferenc Krausz der Nobelpreis für Physik zuerkannt.

Mit Femtosekunden-Laserpulsen erzeugt das Forscherteam in Lund, Schweden, sogenannte Hohe Harmonische. Diese benutzen sie, um Attosekunden-Laserpulse zu erzeugen, und beobachten damit atomare Vorgänge.



„Wir haben immer wieder die Laserhersteller angestachelt, bessere Ultrakurzpuls-laser zu entwickeln.“

1987 fanden Sie in einem Experiment heraus, wie man sogenannte Hohe Harmonische erzeugt. Eine Vorbedingung zur Erzeugung von Attosekunden-Pulsen.

Ja, das war ein glücklicher Zufall! Das ist immer am schönsten, wenn man auf etwas stößt, was man nicht erwartet hat. Dann gibt es was zum Puzzeln. Wir wollten damals eigentlich Edelgase mit intensivem Laserlicht beschießen und Fluoreszenz-Effekte untersuchen. Es stellte sich heraus, dass das stärkste dabei beobachtbare Licht nicht fluoreszent war, sondern die Hohen Harmonischen der Laserfrequenz. Diese Entdeckung hat meine Karriere verändert. Mithilfe der Hohen Harmonischen konnte man später Attosekunden-Pulse generieren, und das mache ich ja noch heute.

Kann ich mir denn wenigstens Hohe Harmonische vorstellen?

Ja, das geht! Hier habe ich einen Vergleich, der viel besser funktioniert als der mit dem Universum und den Attosekunden. Wenn Sie die Saite einer Violine mit dem Bogen streichen, entsteht nicht nur der reine Ton, also eine pure Tonfrequenz. Es entstehen auch andere Frequenzen. In der Musik nennt man das Obertöne. Sie verleihen dem Klang erst die Farbe. Obertöne sind Harmonische. Etwas Ähnliches passiert, wenn man ein Gas unter bestimmten Bedingungen intensiven Femtosekunden-Laserpulsen aussetzt: Es entstehen neue, viel kurzwelligere Laserfrequenzen. Die Hohen Harmonischen sind die Obertöne der Laserphysik.

Was kann man mit Hohen Harmonischen Lichtpulsen anstellen?

In einem nächsten Schritt die Attosekunden-Pulse machen. Aber sie sind auch für sich genommen nützlich. Wir kooperieren gerade mit einem Hersteller von Lithografie- und Messtechnikanlagen für die Halbleiterindustrie. Die Idee ist, mit Hohen Harmonischen die winzigen Strukturen auf Halbleitern zu prüfen. Für mich als Grundlagenforscherin ist das ein ungewöhnlich konkretes Projekt. Ich bin überrascht und glücklich, dass unsere Arbeit nützlich für die Gesellschaft werden könnte.

Hat denn auch die Lasertechnologie etwas von Ihrer Forschung?

Ja. Wir aus der Attosekundenphysik haben seit Jahrzehnten immer wieder die Laserhersteller angestachelt, neue und

bessere Ultrakurzpuls-laser zu entwickeln. Andersherum profitieren wir natürlich von besseren Strahlquellen. Je besser die Initialstrahlquelle, desto besser die Hohen Harmonischen, desto besser die Attosekunden-Pulse. Daraus ergeben sich dann bei uns wieder neue technische Entwicklungen, etwa Diagnose- und Messmethoden im Bereich der der Ultrakurzpuls-Lasertechnologie. Es ist also ein ständiges Anspornen. Neben diesen erfreulichen Effekten gibt es aber etwas, was mir an meiner Arbeit am wichtigsten ist.

Was ist Ihnen am wichtigsten?

Ich bin Forscherin. Ich bin aber auch Lehrerin. Ich darf viele kluge junge Menschen ausbilden und beobachten, wie ihr Wissen wächst. Ich halte das für meinen größten Beitrag. ■



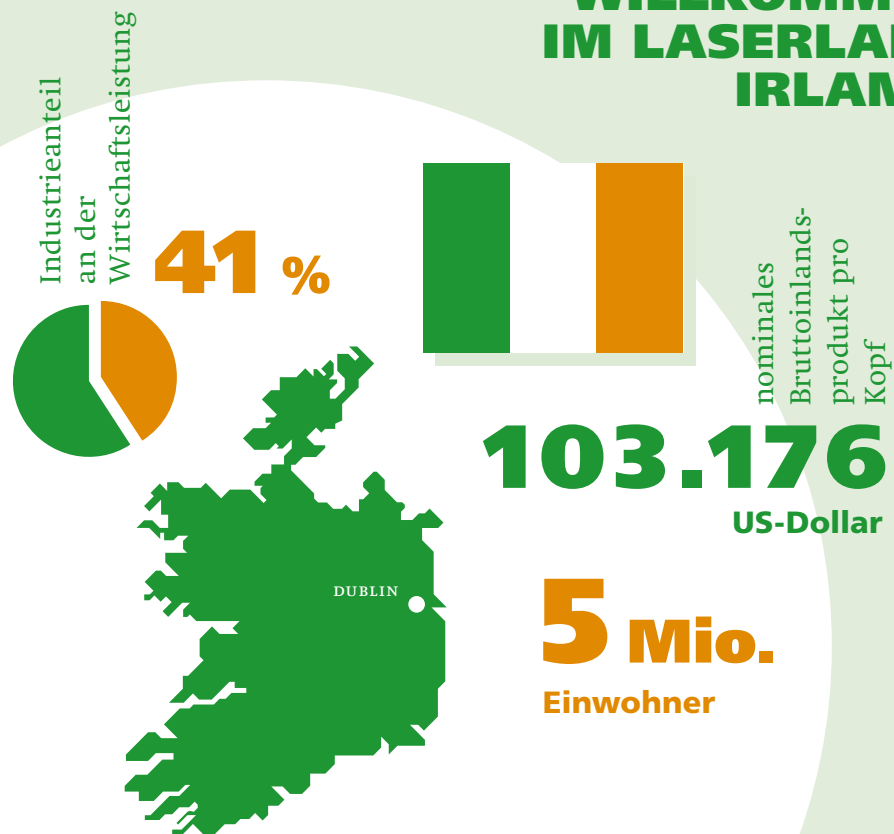
BLICK AUF DIE WIRTSCHAFT

Die Entwicklung des „**keltischen Tigers**“ seit den 1990ern gilt als eine der großen wirtschaftlichen Erfolgsgeschichten.

Irland exportiert kontinuierlich mehr Waren, als es einführt. 2022 lag der **Handelsbilanzüberschuss** bei 68 Milliarden US-Dollar, einer der höchsten der Welt.

Irlands wichtigste Exportgüter sind **medizinische und pharmazeutische Produkte** sowie organische Chemie-Erzeugnisse.

WILLKOMMEN IM LASERLAND IRLAND!



LAND UND LASER

Irland ist ein **Lasertechnik-Spätzünder**. Nach zähem Start hat das Land sich inzwischen aber zu einem bedeutenden Anwender von Lasertechnologie entwickelt.

Photonische Anwendungen findet sich neben der verarbeitenden Industrie in der **Analyse-, Bio-, und Labortechnik**.

Industrie und Hochschulen arbeiten in Irland eng zusammen. Aus der Forschung gründen sich immer wieder **Start-Ups** in Optoelektronik und Laserbearbeitung.



A mountain biker wearing a helmet and a black t-shirt is performing a wheelie on a dirt trail in a forest. The bike is balanced on its rear wheel, and the front wheel is high in the air. The background is a dense forest with green trees and foliage. The lighting is bright, suggesting a sunny day.

WO STECKT DER LASER

Im Mountainbike- Sprung.

Was sind 100 Gramm? Und was bedeutet es schon, noch mal ein Drittel oder gar die Hälfte davon einzusparen? Die Welt! Für einen Freerider auf dem Sprung. Wer um jedes Gramm Gewicht am Rad kämpft, dem sind die Bremshebel längst ein Dorn im Auge. So viel Metall, so viel Gewicht Flugzeug- Aluminium ist praktisch Standard.

Aber wie wäre es mit Titan? Und wie viel leichter wäre der Bremshebel, wenn das Metall nur noch da wäre, wo die Hebelkräfte es verlangen? Gedacht, getan mit High-End-Bremshebeln aus dem 3D-Drucker: filigrane Gebilde, aus Titan und Luft designt und vom Laser im Pulver ausgeformt entlang der Kraftflüsse. 112 Bremshebel kommen aus einer einzigen Aufbaurunde aus einer TruPrint 2000 raus — damit erreicht das Verfahren Dimensionen der Massenfertigung. Hals- und Beinbruch! ■

0,8

MIKRONEWTON

LICHTZUGKRAFT

Klassische Szene aus Alien-Filmen: Ein sogenannter Traktorstrahl zieht die terrestrischen Untersuchungsobjekte hinauf ins UFO. In echt klappt das noch nicht, aber es scheint langsam möglich. Denn chinesischen Forschern aus Qingdao gelingt es in einem Experiment erstmals, ein mit bloßem Auge

sichtbares Objekt per Laserstrahl anzuziehen. Es handelt sich dabei um ein speziell präpariertes Flöckchen aus dem Kohlenstoff-Werkstoff Graphen. Die sogenannte Lichtzugkraft beträgt hierbei 0,8 Mikronewton. Das ist zwar nicht besonders viel, aber die erste Hürde hin zum Traktorstrahl ist damit genommen!

TRUMPF



LASERCOMMUNITY.38 erscheint im Frühjahr 2024.

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