

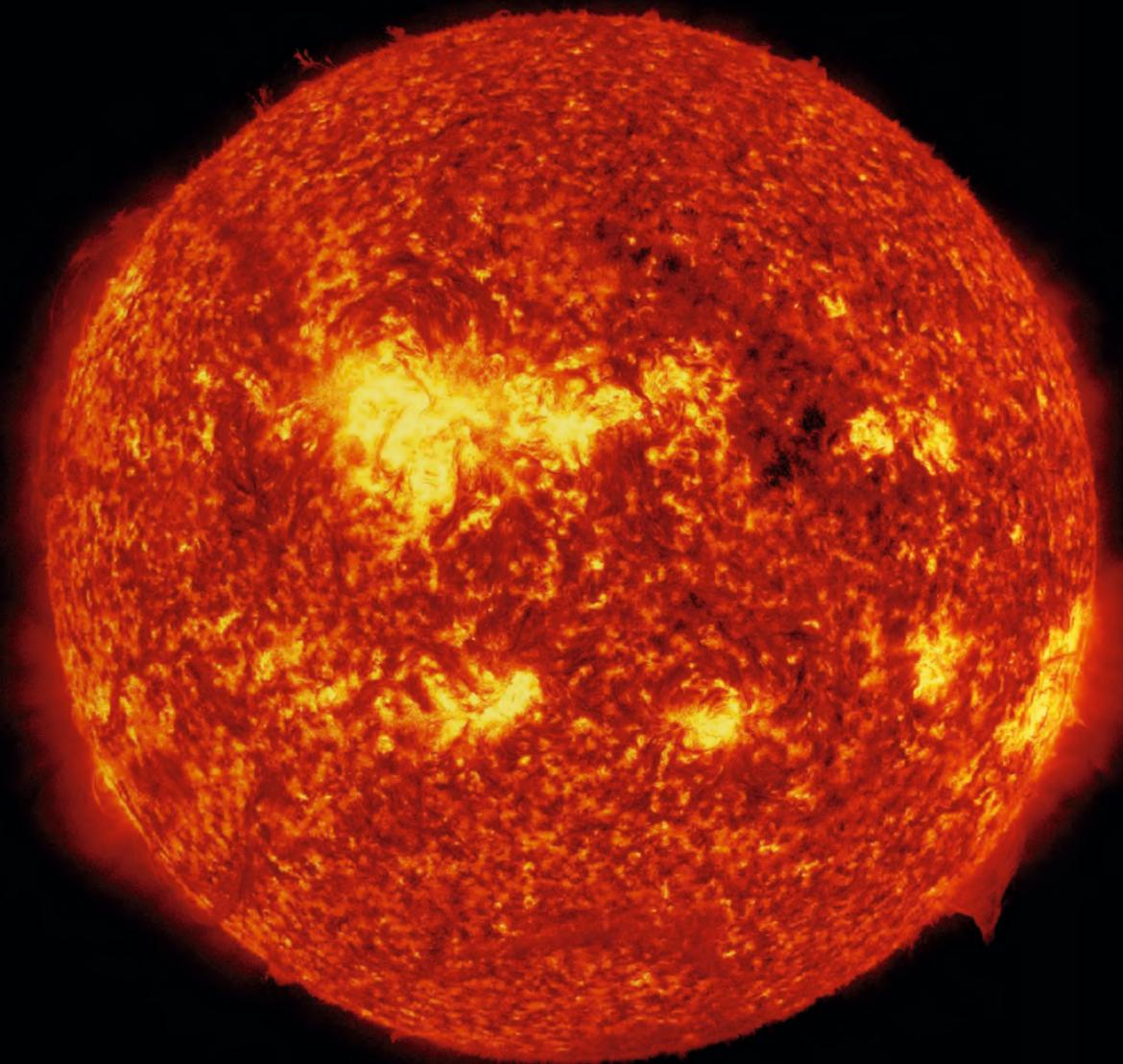
LASER COMMUNITY.

Über Menschen und Photonen



Riech's per Laser

Optische Mini-Sensoren für die Industrie erobern neue Sinne: Sie können jetzt hören, tasten — und riechen.



LASER COMMUNITY. #36

AUSGABE Sommer 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, Julia Stolte

FOTOGRAFIE UND ILLUSTRATION Dominik Asbach, Matti Immonen, Philippe Keith, Melina Mörsdorf, Mark Oliver, 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

Titelseite: midjourney / Die Magaziniker; Seite 2: NASA

Gernot Walter

EDITORIAL



Liebe Leserinnen und Leser,

Fachleuten ist die sogenannte Fusionskonstante ein Begriff: Dabei handelt es sich exakt um die Zeit, die es noch dauert, bis uns Kernfusion Strom liefert. Dass es sich hierbei um rund 50 Jahre handelt – darüber sind sich die Gelehrten seit einem halben Jahrhundert einig. Aber Scherz beiseite: Seit Ende des vergangenen Jahres ist klar, dass sich nun bei dem Thema ernsthaft etwas tut. Denn nach jahrzehntelanger Forschung ist Wissenschaftlern am Lawrence Livermore National Laboratory in den USA nun ein Durchbruch gelungen. Sie konnten mit Lasern eine Kernfusion entzünden und damit das Prinzip der Sonne auf der Erde nachbilden.

Um ganze Fusionskraftwerke industriell zu betreiben, gibt es allerdings noch viel für uns in der Lasertechnik zu tun. Wenn es jedoch gelingt, wäre das ein Riesenschritt für die Menschheit. Wie weit der Weg zum „heiligen Gral der Energiegewinnung“ noch ist und welche Folgen diese Entwicklung für die Lasertechnik haben könnte, lesen Sie im Interview mit Prof. Constantin Häfner, Leiter des Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT *ab Seite 18*. Ich wünsche jedenfalls allen, die am Jahrhundert-Projekt Fusionskraft arbeiten, viel Mut für neue technische Lösungen.

Den Durchbruch bereits geschafft hat eine ganz andere Technologie: Die Elektromobilität. Sie hat ihren Weg in den Massenmarkt bereits gefunden, mit Hilfe der Lasertechnik. TRUMPF war schon bei den ersten Batterieprojekten in China und Südkorea als Ausrüster mit dabei. Von diesem Erfahrungsschatz profitieren heute auch Hersteller in Europa. Das zeigt das Beispiel Valmet Automotive in Finnland. Das Unternehmen beweist, dass eine rentable Produktion von Batterien auch in einem Land mit hohen Standortkosten möglich ist. Wie Valmet Automotive mit klugen Köpfen, cleveren Lösungen und viel Lasertechnik von TRUMPF insbesondere die höheren Lohnkosten aufwiegt, *lesen Sie ab Seite 6*.

Zum Schluss erlaube ich mir noch ein paar persönliche Worte zu verlieren: Die letzten 24 Jahre bei TRUMPF durfte ich viele Höhen und nur ganz wenige Tiefen erleben. Nun verabschiede ich mich in einen neuen Lebensabschnitt, den manche Ruhestand nennen. In der nächsten Ausgabe wird Sie an dieser Stelle mein Nachfolger, Dr. Hagen Zimer, begrüßen. Für seine neue Aufgabe wünsche ich ihm viel Erfolg und Weitblick – und Ihnen, liebe Leser, viel Freude beim Lesen dieser Ausgabe.

DR. - ING. CHRISTIAN SCHMITZ

Chief Executive Officer Laser Technology

Mitglied des Vorstands der TRUMPF SE+Co. KG

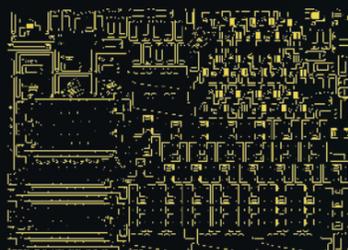
christian.schmitz@trumpf.com

**Süß**

TRUMPF wird 100, die Laser Community süße 17! Unser erstes Heft aus dem Jahr 2006 preist mit „Projekt: Zukunft“ abgefahrte Designideen für Lasermaschinen. Die zweite große Story findet man heute in Tausenden Werkshallen — das Scanner-schweißen: **Ausgabe #1.**

**Knackig**

Matti Immonens Fotos aus der Batteriefabrik in Salo zogen uns die Schuhe aus: der Lichteinsatz, die Komposition, der Blick für Details — ein Bild knackiger als das andere. Finnland — volle Punktzahl! Ab **Seite 6.**

**Frisch**

Die Lackierung auf Vorder- und Rückseite zeigt ein Muster aus vereinzelt Blechteilen. Es steht sinnbildlich für die TRUMPF Geschichte: von der Platine getrennt (so fing alles an), per Laser geschnitten (der Hightech-Durchbruch), errechnet von einem Quantencomputer (da geht's weiter). Ewig frisch auf Seite **1 und 32.**

Gernot Walter, Matti Immonen, TRUMPF

LASER



Mark Oliver, Matti Immonen

COMMUNITY.

THEMA

12 LASERS NEUE SINNE

Mini-Laser auf Mikrochips katapultieren die Sensorik ins Reich der Sinne: Die neuen millimeterkleinen Nasen, Finger und Ohren sind das, worauf Industrie, Consumer Electronics und Umwelttechnik gewartet haben.

6 Batterie Boom

Valmet Automotive macht vor, wie sich die Batterieproduktion in einem Hochlohnland rechnet.

11 POWER

Europas stärkster Laser nimmt dem MIG/MAG-Schweißen den Wind aus den Segeln.

18 „Hightechlaser werden Massenware.“

Prof. Constantin Häfner vom Fraunhofer ILT prophezeit, dass die Zukunft der Kernfusion vom Laser abhängt. Und andersherum.

22 Stoppt den Kornkäfer!

Die Ernte ohne Chemikalien vor Schädlingen schützen? Ein Lasersystem macht vor, wie es geht.

25 GLORY

Nobelpreisträger Anton Zeilinger gab den Ingenieuren die Quanten.

26 Laser auf geheimer Mission

Wenn sich niemand anderes das Automatisierungsprojekt zutraut, hebt JT Automation die Hand.

28 AHEAD

Sabine Brock vom DESY macht dem laserbasierten Teilchenbeschleuniger Beine.

30 LASERLAND

So lasert Tschechien.

31 WO STECKT DER LASER?

Im sorgenfreien Naschen.

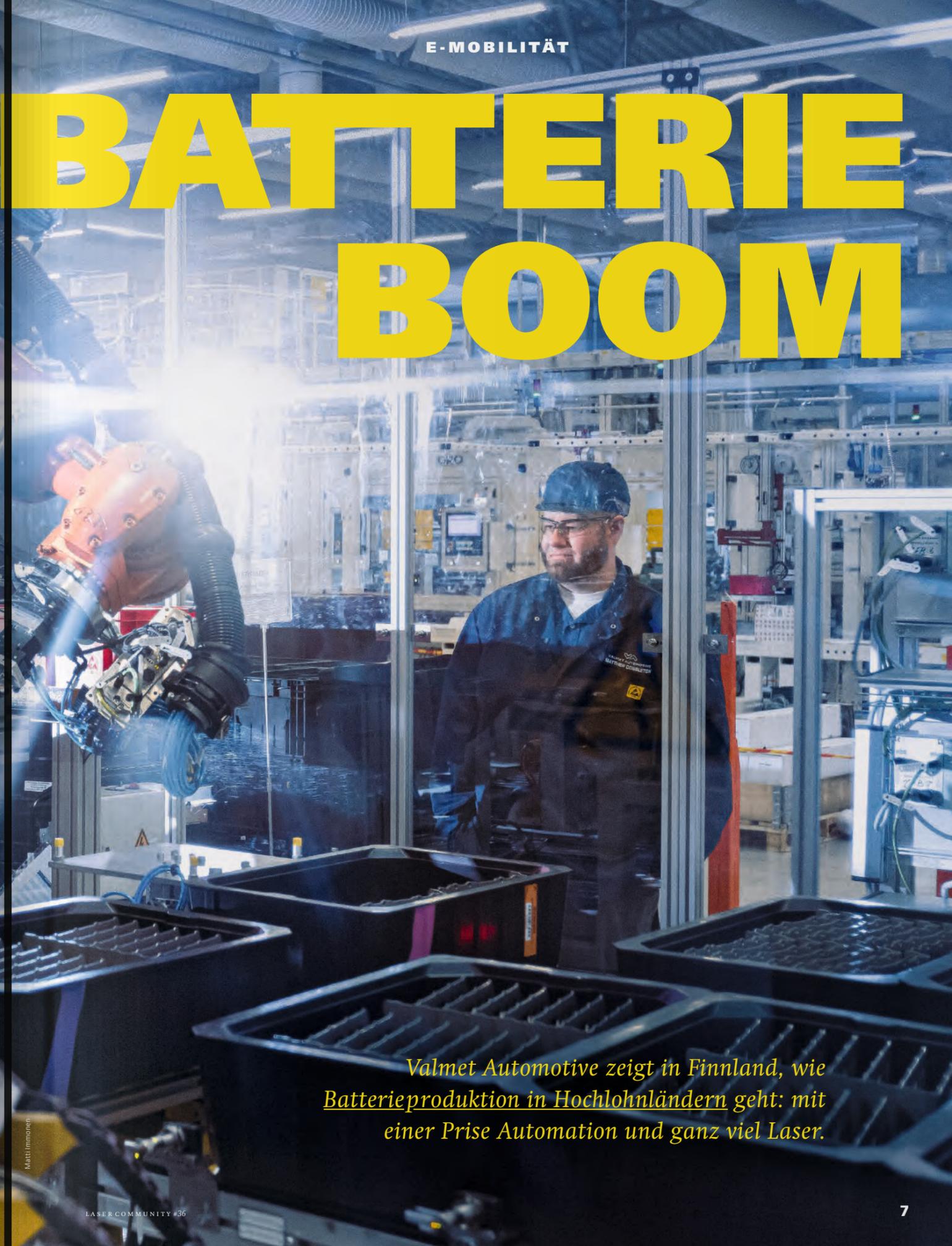


Dominik Asbach, Die Magaziniker, Philippe Keith





Valmet
Automotive zog
die Fabrik in
Salo in nur neun
Monaten hoch.



BATTERIE BOOM

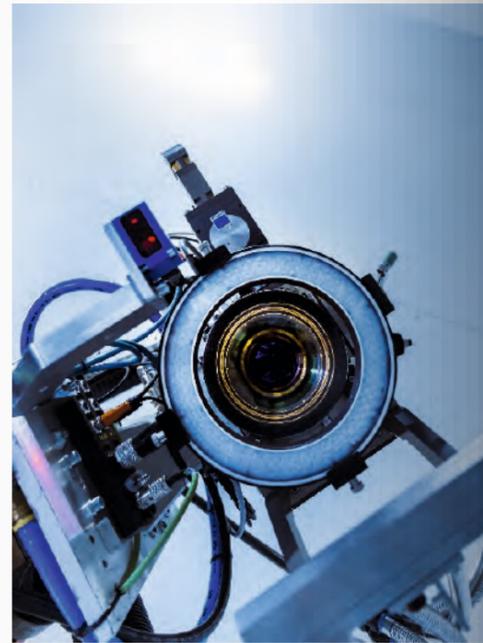
*Valmet Automotive zeigt in Finnland, wie
Batterieproduktion in Hochlohnländern geht: mit
einer Prise Automation und ganz viel Laser.*

Hier ist die Aufgabe: „Bau eine komplette Batterieproduktion auf. Du kriegst eine leere Halle und neun Monate Zeit.“ Matthew Congleton erinnert sich an die Ausgangslage: „Das war eine große Nummer“, sagt er knapp. Congleton ist beim finnischen Auftragsfertiger Valmet Automotive Leiter Produktion der Batterieproduktion am Standort Salo. Als Erstes schaut er sich im Februar 2019 die Halle in Salo an. Es wehen Staubmäuse durch das leere Fertigungsgebäude des früheren Nokia-Werks gut eine Stunde Autofahrt westlich von Helsinki. Von Hightech keine Spur. „Alles war sehr ungenutzt und sehr leer. Aber da hier schon einmal elektronische Teile gefertigt wurden, sollte es auch mit der Batterieproduktion klappen“, sagt der gebürtige US-Amerikaner. Er nimmt die Aufgabe an. Nun muss es schnell gehen.

FERTIGEN, WAS DAS ZEUG HÄLT Denn die E-Mobilität boomt, die Nachfrage nach Antriebskomponenten ist gigantisch. „Die Automobilhersteller nehmen uns ab, was wir produzieren können“, sagt Congleton. Das Tempo ist rasant. Valmet Automotive geht es mit und stellt, wenn es sein muss, eben auch in kürzester Zeit eine Batterieproduktion auf die Beine. Das finnische Unternehmen geht damit den ersten Schritt vom reinen Lohnfertiger zum Hersteller eigener Produkte und sammelt Wissen, um künftig in der Batterieproduktion erfolgreich zu sein. Batteriepacks auch in Europa zu fertigen, bietet für die europäische Automobilindustrie einen riesigen Vorteil: Es macht die Lieferketten wesentlich kürzer. „Wie anfällig diese sind, haben die Pandemie, der Ukrainekrieg, aber auch ein festgefahrener Frachter im Suezkanal gezeigt“,



Wo Valmet Automotive heute Batteriepacks schweißt, produzierte Nokia einst Handys. Das erleichtert die Suche nach qualifizierten Mitarbeitern.



sagt Congleton. Das Ganze ausgerechnet in einem Hochlohnland wie Finnland zu starten, macht ihm kein Kopfzerbrechen: „Wir haben hier ein hohes Bildungsniveau. Bei komplexen Systemen wie dem Bau einer Batterie ist es sehr wichtig, dass wir über Spezialisten verfügen. Der Output und die Effizienz gleichen die höheren Lohnkosten bei Weitem aus.“

Auch wenn der Anfang nervenaufreibend ist, das Projekt in Salo zeigt, dass es geht. Während Valmet Automotive die automatisierte Fertigungslinie in Deutschland vorbereitet, laufen in Finnland die Arbeiten am Gebäude. Congleton sagt: „Es mussten unglaublich viele Dinge gleichzeitig passieren. Das war unsere erste Serienfertigung für Batteriesysteme und ein neuer Standort. Wir stellten die Mitarbeiter ein, die gleichzeitig die Fertigung bauten und sich die Expertise in einem neuen Geschäftsfeld erarbeiten sollten. Eine verrückte Zeit.“ Doch pünktlich Anfang Oktober 2019 schweißt Valmet Automotive die ersten Batteriepacks in Salo. In den folgenden drei Jahren fertigte das Unternehmen eine Million Packs und schweißte ungefähr 80 Millionen Nähte mit dem Laser. Das Startteam mit 30 Mitarbeitern ist mittlerweile auf 800 gewachsen.

MAXIMALE FREIHEIT Dass in Sachen E-Mobilität gerade viel geht, ist für das Unternehmen Chance und Herausforderung zugleich. Denn Standards gibt es kaum, stattdessen eine enorme Vielfalt an Systemen und Designs. „Die Industrie ist jung, und viele Technologien und Qualitätsanforderungen werden gerade erst entwickelt“, sagt Congleton. Auch die Automobilhersteller selbst sind noch am Austesten. An welcher Stelle

Matti Immonen

„Der Laser kann's am besten“, sagt Produktionsleiter Matthew Congleton. Er verschweißt die Batteriezellableiter zu festen Packs, ohne die empfindlichen Komponenten im Inneren zu beschädigen.

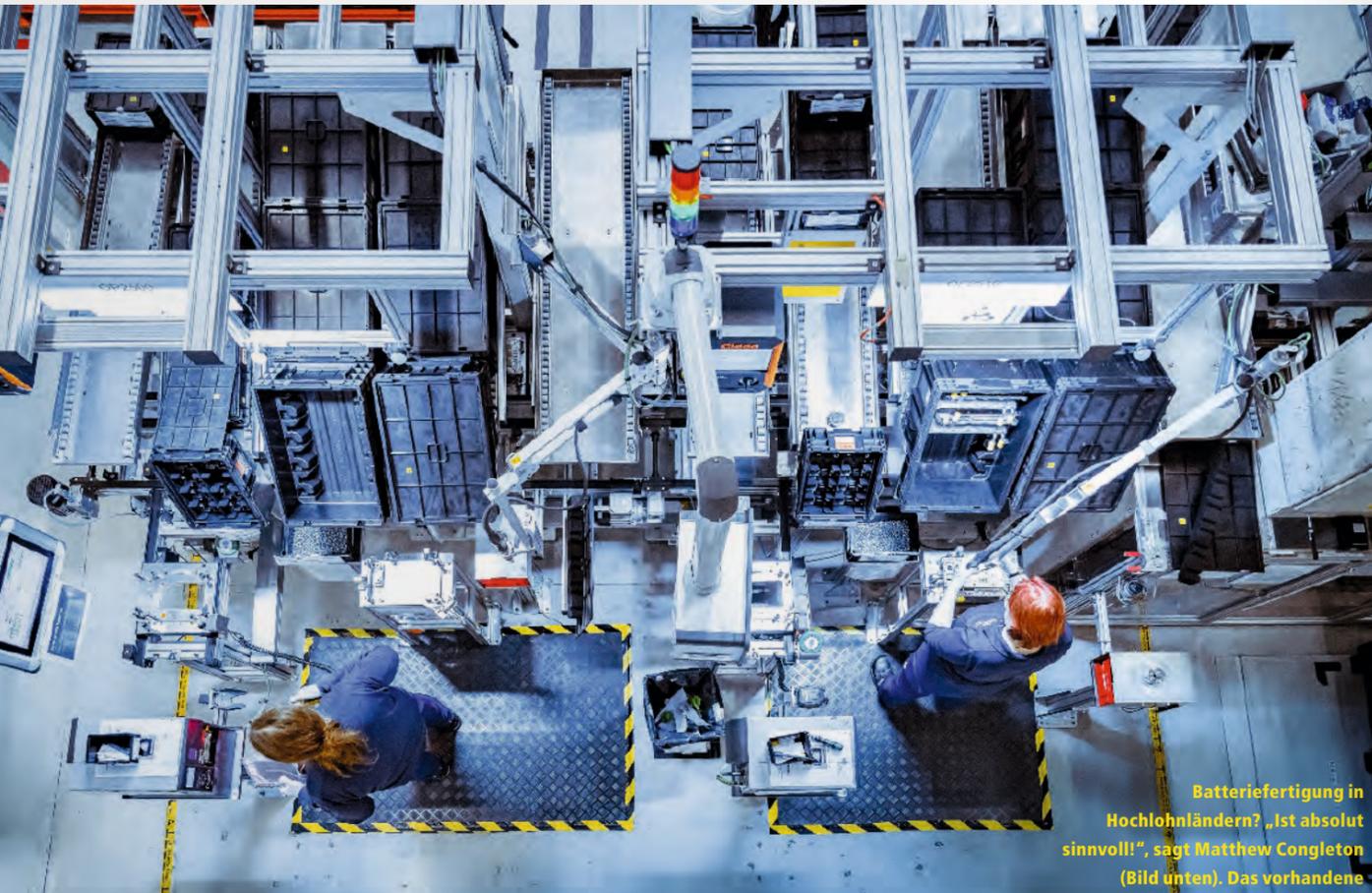


Geballte Automatisierung auf 180 Metern. Manuelle Arbeitsschritte sind an der

Fertigungslinie in Salo die Ausnahme.

Matti Immonen

„In der Batterieproduktion für E-Autos gibt es keine Standards. Valmet Automotive gestaltet seine Linien darum flexibel.“



Batteriefertigung in Hochlohnländern? „Ist absolut sinnvoll!“, sagt Matthew Congleton (Bild unten). Das vorhandene

Fachwissen wiege die höheren Kosten locker wieder auf.

sie die Batteriepacks im Auto verbauen, verändert die Gewichtsverteilung und damit das Fahrverhalten. Die Ansätze sind völlig unterschiedlich. Manche Hersteller platzieren die Batterie unten am Fahrzeug, andere testen, wie sie sich in den Fahrzeugrahmen integrieren lässt. Für Hersteller wie Valmet Automotive bedeutet das: maximal flexibel bleiben. Congleton erklärt: „Wir passen jede Fertigungslinie speziell auf das jeweilige Produkt an.“ Je nachdem, wie schnell der Kunde welche Stückzahlen braucht, variiert das Maß an Automatisierung. „Automatisierung braucht Zeit, ermöglicht dann aber höhere Produktionsgeschwindigkeiten. Wir können sowohl eine hoch automatisierte Anlage mit hoher Kapazität als auch eine Anlage mit geringerer Kapazität und mehr manueller Bedienung bauen.“ In Salo schweißt Valmet Automotive mittlerweile auf insgesamt drei Linien Batteriepacks für Mercedes-Benz und Volvo. Wie unterschiedlich die Komponenten sein können, zeigt sich auch hier. Das eine Batteriesystem wiegt zwölf Kilo, das andere über 100.

Eine Konstante ist dagegen der Laser. Er schweißt die Batteriezellableiter aus Kupfer

und Aluminium zu einem Pack zusammen. Glatt, fest und dicht muss die Naht sein, damit die Zellen auch bei Erschütterungen sicher verbunden bleiben. „Mit dem Laser funktioniert das auch bei sehr dünnem Blech“, sagt Congleton. „Er ist schnell, erzeugt eine hochfeste Naht, bringt dabei wenig Hitze ins Material ein und verhindert so, dass die empfindlichen Komponenten im Inneren bei einem möglichen Crash beschädigt werden.“ In die 180 Meter lange Fertigungslinie, auf der die Finnen Batteriepacks für Mercedes-Benz schweißen, sind insgesamt zwei TruDisk Laser mit jeweils fünf Kilowatt Leistung integriert. PFO-Scanneroptiken ermöglichen das schnelle und präzise Remoteschweißen. In diesem Fall sind hohe Stückzahlen und damit ein hoher Automatisierungsgrad gefragt. Manuelle Eingriffe gibt es kaum, lediglich den Qualitätscheck am Ende übernimmt ein Mitarbeiter. Das Schöne am Laserprozess sei zudem seine hohe Wiederholgenauigkeit, sagt Congleton. „Sind die Schweißparameter einmal richtig eingestellt, läuft der Prozess zuverlässig. Wir haben die Parameter seit drei Jahren nicht mehr geändert.“ ■



Kontakt: Valmet Automotive, Matthew Congleton, Production Director in Salo, matthew.congleton@valmet-automotive.com

Matti Immonen

FRISCHE BRISE SUCHT FESTE NAHT

Superdicke Stahlteile wie etwa für Windradtürme lassen sich bislang nicht per Laser schweißen. Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) nimmt Heavy-Duty-Anwendungen in den Blick: Stahlbauteile mit Einschweißstiefen von 20 Millimetern und größer. Bisher fügt man die Teile mittels MIG/MAG-Schweißen. Das funktioniert, doch es gibt ein Problem: Das Verfahren ist nicht präzise und bringt viel Wärme ins Material ein. Der Laser kann das besser. Doch für dicke Teile braucht er richtig Power. Also richtig, richtig Power.

Säulen eines Windrads, Komponenten für Eisenbahnwaggons, Schiffswände, aber auch Atommüllcontainer – die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) nimmt Heavy-Duty-Anwendungen in den Blick: Stahlbauteile mit Einschweißstiefen von 20 Millimetern und größer. Bisher fügt man die Teile mittels MIG/MAG-Schweißen. Das funktioniert, doch es gibt ein Problem: Das Verfahren ist nicht präzise und bringt viel Wärme ins Material ein. Der Laser kann das besser. Doch für dicke Teile braucht er richtig Power. Also richtig, richtig Power.

Die BAM testet deswegen seit Anfang des Jahres Europas stärksten Festkörperlaser für den industriellen Einsatz. Er hat satte 60 Kilowatt Leistung. Zum Vergleich: Automobilhersteller laserschweißen ihre Karosserien mit gerade mal vier bis sechs Kilowatt. Die Steigerung der Laserenergie macht Einschweißstiefen von mehr als 20 Millimetern möglich.

Der Mega-Laser der BAM kombiniert drei TruDisk Festkörperlaser mit jeweils 20 Kilowatt Leistung. Das Licht aus jedem der drei Laser wird zunächst durch ein Lichtleitkabel mit 100 Mikrometern Dicke

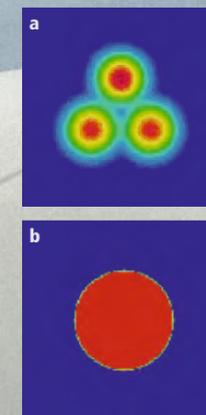
geführt, bevor es in einem 300 Mikrometer dicken Kabel gebündelt zur Optik gelangt. Diese fokussiert den Strahl dann zu einem 400 Mikrometer kleinen Spot. Klingt banal, ist aber ungefähr so, als quetschte man eine Melone durch einen Gartenschlauch. Damit das funktioniert, braucht es eine hohe Strahlqualität. Außerdem muss das System einiges aushalten und Rückreflexionen abkönnen, damit sich die enorme Laserleistung überhaupt kontrolliert einsetzen lässt. Darum also resistente Scheibenlaser, eine Sonderoptik mit Parabolspiegeln statt Linsen und ein spezieller LXX-Stecker zwischen Lichtleitkabel und Optik.

Auf dem Weg zur industriellen Anwendung gibt es noch ein paar Punkte zu klären – zum Beispiel, was mit der großen Menge an Schmelze passiert, die beim Schweißprozess entsteht, oder wie sich breite Fügespalten mit dem kleinen Spot sicher verbinden lassen. Das BAM-Team tastet sich derzeit an die maximale Leistung heran und fährt erste Tests mit 25 Kilowatt, bevor es dann mit voller Power an dicksten Stahl geht. ■

Dickste Teile, wie die Säule eines Windrads, per Laser geschweißt – die BAM will's möglich machen.

POWER

Aus drei mach eins: Intensitätsverteilung im Querschnitt am Anfang (a) und am Ende des Lichtleitkabels (b).



AdobeStock / bernid schieber/EyeEm, Gernot Walter

LASERS NEUE SINNE

Die neue Zauberabkürzung im Reich der Hightech-Sensorik heißt VCSEL: Diese Mikrochip-Diodenlaser ermöglichen hochfeine Sensoren für Industrie und Consumer Electronics. Die Winzlinge können jetzt sogar riechen, tasten und hören.

Was kommt denn da als Abgas raus? Die Nase im Schiffsschornstein sagt es uns genau.

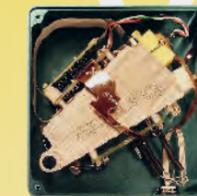
Die Schornsteine des Transportschiffs rauchen, doch was kommt da eigentlich alles raus? Chemische Schnüffelgeräte knicken in so einer Umgebung schnell ein: Sie verdrecken, halten Vibration und Temperatur nicht aus, spinnen manchmal; ständig muss jemand chemische Mittel tauschen und nachfüllen. Die erste optische Nase des norwegischen Start-ups Tunable hat all diese Probleme nicht. Sie sitzt sogar innen drin im Schornstein und sendet so stoisch wie wartungsfrei einen steten Strom hochpräziser digitaler Messdaten.

Jedes Gasmolekül hat eine spezifische Signatur im Infrarotspektrum und lässt sich daher per Spektroskopie, also optisch, erfassen. Astronomen bestimmen damit sogar bereits die chemische Zusammensetzung ferner Exoplaneten. Tunable macht das im Millimetermaßstab: Der Sensor detektiert je nach Ausführung über zehn verschiedene Gase in der Umgebungsluft und misst deren Konzentration. Im Falle des Schiffsschornsteins etwa sucht er nach CO₂, Stickoxiden, Kohlenwasserstoffen wie Methan und anderen Gasen. Gut für Tunable,

dass die Europäische Union ab 2024 eine genaue Erfassung und Dokumentation der Schiffsemissionen vorschreibt. Die optische Nase ist bisher das einzige zuverlässige Instrument dafür.

Doch einmal Blut gerochen, kommen die Tunable-Experten auf zig andere Anwendungen, wo es spitze wäre, die Beschaffenheit der Umgebungsluft genau zu kennen. Ein Killerfeature der Laser-Nase ist, dass sie nicht nur nach bestimmten Gasen schnüffeln kann, sondern auch Veränderungen im spektralen Fingerabdruck des Gasgemischs erkennt. So kann der Sensor in einem Container mit Tomaten oder anderen Früchten genau erriechen, wie der Reifegrad ist. Bereits im Hafen ist klar, wie viel Wegstrecke die Früchte bis zum Supermarkt noch aushalten. Das verbessert die Logistik und mindert den Lebensmittelabfall. Und auch beim Transport von Flüssiggas (LNG) wird der Detektor eine wichtige Rolle spielen. Er prüft die Ladung auf LNG-Tanks und misst sogar das Energielevel und damit die Qualität des Gases. Oder er sitzt an Pipelines, wo er auch kleinste Lecks erschnüffelt. □

INASE



Der erste optische Riech-Sensor entdeckt und identifiziert Gasmoleküle und

errechnet ihren Gehalt in der Luft.

Mark Oliver, Tunable

02



FINGER

Ein laserbasierter Feinstaubdetektor tastet die Umgebungsluft nach Partikeln ab. Wenn's gefährlich wird, warnt er.

F Feinstaub schädigt die Gesundheit. Atmet ein Mensch die kleinen Partikel mit einem Durchmesser unter zehn Mikrometern ein, können sie direkt von der Lunge in die Blutbahn geraten und bleiben für immer im Körper. Je kleiner sie sind, desto fieser. Darum hat Bosch Sensortec nun einen optischen Feinstaubsensor im Mikroformat entwickelt. Er erfasst Feinstäube bis unter 2,5 Mikrometern Durchmesser und deren Konzentration hochgenau. Allgemein bekannt ist, dass Straßenverkehr und Abgase Feinstaub verursachen. Doch die Feinstaubkonzentration in Innenräumen ist oft sehr viel höher. Denn auch beim Braten, durch Kerzen oder Kaminfeuer entstehen Feinstäube.

Mehrere Mini-Laserstrahlen tasten die Luft nach Partikeln ab und erkennen deren Größe. Sie sitzen hinter Glas und haben selbst keinen direkten Kontakt zur Luft. Das bedeutet: Sie verschmutzen nicht und arbeiten stumm ohne nervtötende Geräusche eines Lüfterrädchens. Die Laser-Finger sind so klein, dass sie unter dem Display einer Smartwatch wachen und den Träger warnen, wenn der Feinstaubwert gefährlich in die Höhe schnell. Das Prinzip passt auch für Smarthome-Anwendungen: Die Dunstabzugshaube schaltet automatisch auf volle Power, wenn man's mit dem Anbraten übertreibt. Und ein im Thermostat versteckter Feinstaubsensor sagt der Lüftungsanlage Bescheid, wenn's mal wieder Zeit ist für frischen Durchzug. □

Ist die Luft rein?
Der Laserfinger
an der Smartwatch
gibt Bescheid,
wenn's brenzlich
wird.

Mark Oliver, Bosch Sensortec

03

OHR



Wie geht's dem
Roboter? Das
optische Ohr hört's
schon, bevor was
schiefliegt.

Mit Licht zu hören, ist nicht so absurd, wie es sich anhört: Optische Mikrofone sind winzig und fangen jedes noch so kleine Geräusch kristallklar auf.

Im Zeitalter von Videokonferenzen und Handy-Mitschnipseln von Konzerten per WhatsApp haben es alle leidvoll erfahren: Kleine Mikros bringen's nicht. Es rauscht, es fiept, es nervt. Das Startup SensiBel aus Norwegen tritt an, die kleinen Mikrofone zu revolutionieren. Statt den Schall elektrisch zu messen, machen sie es optisch per winzigem Laserstrahl. Der Klang ist kristallklar, auch die leisesten Geräusche erfasst das System so exakt wie ein großes Studiomikrofon. Da freuen sich künftige TikToker, die ihre Smartphone-Videos mit Audio in Tonstudioqualität um die Welt schicken. Und Teilnehmer an Fernmeetings, die ihr Gegenüber plötzlich genau verstehen und selbst ganz normal in die Konferenzspinnen sprechen können.

Es stecken aber noch viele weitere Anwendungen in den kleinen optischen Klangwundern. Ihre Stärke liegt darin, dass sie – anders als Menschen – auch in lauter

Umgebung leiseste Geräusche detektieren. Mini-Mikros an Industrieanlagen werden melden, wenn sich in der Maschine etwas verdächtig anhört. Dabei lernen sie mittels smarter Programmierung mit der Zeit, welches Geräusch auf welches Problem hindeutet, und geben Wartungsempfehlungen, bevor ein Schaden auftritt. Akustische Zustandsüberwachung funktioniert natürlich auch bei Autos, Flugzeugen und, und, und. Auch kritische Infrastruktur wie Flughäfen oder Kraftwerke lassen sich per Mikro schützen. Kreist da eine Drohne hinter den Wolken? Eine Kamera ist hier blind, der optische Schallsensor am Boden jedoch hört das fremde Ding genau. □



Mark Oliver, SensiBel

DIE OPTISCHE MINI-REVOLUTION



Dank der VCSEL-Laser schrumpft Hightech-Sensorik auf Millimetergröße zusammen. Eine Chance für findige Start-ups.

VCSEL steht für Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser. Das sind Mikrochips mit integrierten Laserdioden. Sie sind winzig wie Brotkrümel, genügsam in der Leistungsaufnahme, kosten dank Massenproduktion bloß ein paar Euro pro Stück – und sind wahre Hochleistungssportler in der Datenerfassung und -auswertung. In Smartphones zum Beispiel liefern sie unterm Display sitzend das unsichtbare und ungefährliche Laserlicht zur Gesichtserkennung. VCSEL greifen mit ihren Mini-Lasern ultrafeine Umgebungsdaten ab, und ihre Mikrochips rechnen diese in elektrische Signale um.

TAUSENDE ANWENDUNGEN Start-ups wie Tunable und SensiBel ersinnen überraschende Konzepte für diese leistungsstarke, aber günstige Technologie. Neben der Anfangsidee und der Konstruktion der Sensoren liegt das Know-how der Firmen vor allem in der Programmierung der Algorithmen. Denn erst diese macht aus dem Datenwust eine sinnvolle, hochpräzise Messung. Alle Firmen, die mit VCSEL hantieren, machen dieselbe Erfahrung: Steht erst einmal das neue Sensorkonzept mit Auswertungsalgorithmen, finden sich sofort lauter Einsatzmöglichkeiten, an die vorher gar keiner gedacht hat. So wird aus dem optischen Mikrofon für glasklare Audioaufnahmen flugs ein Wartungsdetektor für Industrieanlagen. Derzeit überträgt SensiBel die optische Technologie aus dem Mikro auf Konzepte zur Erfassung von Bewegungen, zum Beispiel für einen Beschleunigungssensor. Und Tunable macht aus seiner Nase für Schiffsschornsteine gerade ein Werkzeug im Kampf gegen Lebensmittelverschwendung. ■

Kontakt: Alexander Weigl, Head of Product Management bei TRUMPF Photonic Components, Telefon: +49 731 5501940, photonic.components@trumpf.com

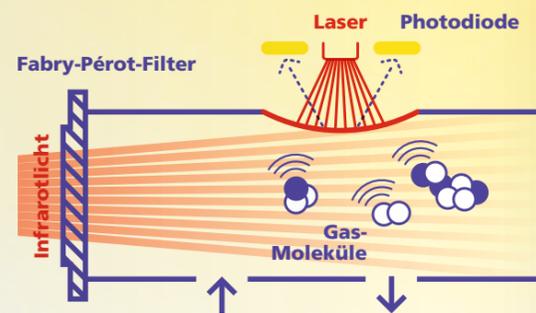
RIECHEN



Kristian Hovet, CEO von Tunable in Oslo, Norwegen

01

Das industriennahe Forschungslabor SINTEF mit seiner Abteilung Nano- und Mikrotechnologie in Oslo ist weltweit führend, wenn es um optische Sensoren geht. Zahlreiche Deep-Tech-Start-ups haben sich mit ungewöhnlichen Produktideen aus dem Institut heraus gegründet. So hat es 2015 auch Thor Bakke gemacht, der heute als CTO bei Tunable arbeitet. Seine Idee: Optische Detektoren atmen Gase aus der Luft und stellen deren Zusammensetzung und Konzentration fest. Tunable-CEO Kristian Hovet sagt über seine Firma: „Das Herz unserer Technologie ist ein MEMS. Es handelt sich um einen winzigen Fabry-Pérot-Filter für Interferometrie.“ Dieser Filter verändert ständig die Wellenlänge des durchfallenden Lichts und scannt die Luft nach Gasmolekülen ab. „Wie wenn Sie bei einem alten Radio den UKW-Regler drehen, um alle Sender durchzugehen.“ Das Team hat eine neue Idee: Beim Molekülscannen entstehen auch kleinste Schallwellen. Fängt man diese mit einem optischen Mikrofon auf, wird die Messung noch genauer. „Und vor allem erlaubt uns das, die Riech-Sensoren noch sehr viel kleiner zu bauen, was die Einsatzmöglichkeiten immens erweitert.“ Die neue Mini-Nase hat das Start-up 2022 auf den Markt gebracht.



So geht's: Die Gase der Umgebungsluft werden in einen Hohlraum geführt. Dort bestrahlt sie ein Infrarotlicht. Ein Fabry-Pérot-Filter in MEMS-Größe verändert ständig die Wellenlänge des Lichts. Unterschiedliche Gasmoleküle reagieren unterschiedlich bei bestimmten Wellenlängen und heizen sich kurz auf. Die dabei entstehende Druckdifferenz erzeugt einen leisen Ton. Eine Membran schwingt mit den Schallwellen, während ein optisches Mikrofon diese Signale ausliest. Das System errechnet daraus, welche Gase sich in welcher Konzentration in der Luft befinden.

TRUMPF, privat, Gernot-Walter

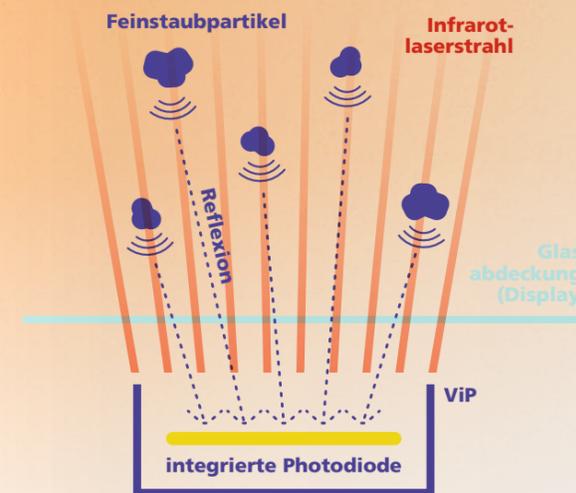
TASTEN



Peter Ostertag, Director Optics Business bei Bosch Sensortec in Reutlingen, Deutschland

02

Als 2014 die Feinstaubbelastung in Städten weltweit diskutiert wird, hat das Entwicklerteam von Bosch Sensortec eine Idee. Peter Ostertag: „Viel wichtiger für die Gesundheit als Durchschnittswerte aus zentralen Messstationen ist doch die Qualität der Umgebungsluft, die ich einatme. Also beschlossen wir, einen Feinstaubdetektor zu entwickeln, den man auch bequem in Wearables wie Smartwatches integrieren kann.“ Das Team tut sich mit TRUMPF Photonic Components zusammen, die die VCSEL zum Sensorkonzept beisteuern. Bald ist klar, dass die VCSEL sogar ohne motorische Unterstützung die Luft abtasten können, wenn die Ingenieure die Laserdioden auf spezielle Weise anordnen. „Das war der Durchbruch zur Miniaturisierung. Der Feinstaubsensor ist jetzt 450-mal kleiner als Konkurrenzprodukte – aber genauso sensitiv.“ Die Industrialisierung läuft gerade hoch. Im Frühjahr 2024 kommt der Feinstaubsensor auf den Markt und zielt neben Smartwatches auch auf Innenraum-Luftüberwachung für Smarthome-Lösungen.



So geht's: Ein VCSEL mit integrierter Photodiode (ViP) sendet infrarote Laserstrahlen durch ein Glas, zum Beispiel ein Display. Treffen die Laserstrahlen auf Partikel in der Umgebungsluft, fangen die Photodioden die Reflexion auf und messen sie per selbstmischender Interferenz (SMI). Ein Algorithmus errechnet daraus die Größe der Partikel und deren Konzentration in der Luft.

Privat, SensiBel, Gernot-Walter

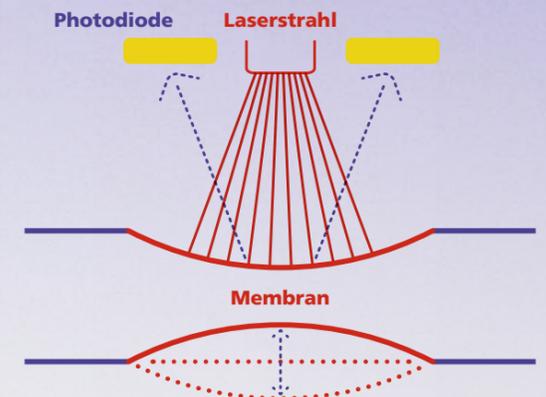
HÖREN



Sverre Dale Moen, CEO von SensiBel in Oslo, Norwegen

03

SensiBel ist wie Tunable eine Ausgründung aus dem umtriebigen SINTEF-Laboratorium in Norwegen. 2017 macht sich das Start-up daran, mal eben das Mikrofon neu zu erfinden. Etwas später stößt Sverre Dale Moen dazu und ist inzwischen CEO: „Mehr als 100 Jahre hat sich an der Grundtechnologie des Mikrofons nichts geändert. Doch mit unserem optischen MEMS führen wir ein ganz neues Messverfahren für Akustik ein.“ Bisher galt die Grundregel, je kleiner das Mikro, desto schlechter die Performance. „Nicht mehr. Größe und Qualität sind bei optischen Mikros fast vollständig entkoppelt. Ein millimeterkleines optisches Mikrofon produziert Aufnahmen in Tonstudioqualität mit höherem Dynamikumfang und praktisch ohne Eigenrauschen.“ Das heißt: Auch kleinste Geräusche und Nuancen werden erfasst, selbst in sehr lauten Umgebungen wie Flughäfen oder Industriehallen. „Die geringe Größe erlaubt kompakte Mikro-Arrays, zum Beispiel für eine 360-Grad-Schallerfassung.“ Das neue optische Mikrofon kommt jetzt auf den Markt.



So geht's: Schallwellen treffen auf eine winzige Silikonmembran und bringen sie zum Schwingen. Ein Infrarotlaserstrahl mit Diffraktion beleuchtet die Membran, während Photodioden die Reflexionen auffangen und die sich ändernden Abstände zur Membran messen. So werden auch kleinste Schwingungsbewegungen völlig ohne Eigenrauschen detektiert. Ein Mikrochip digitalisiert die optischen Signale und gibt sie als Ton-Information weiter.

„Hightech- laser werden Massenware“

Prof. Constantin Häfner
will in Zukunft sein
Brot per Laser
toasten.

Dominik Asbach

”

**Constantin Häfner leitet
das Fraunhofer-Institut
für Lasertechnik ILT.
Hier erklärt er, dass die
Zukunft des Lasers mit
der Kernfusion
zusammenhängen
könnte.**

**Herr Häfner, wenn Sie zehn,
zwanzig Jahre in die Zukunft
der Lasertechnologie schauen
— was sehen Sie da?**
Ich sehe einen Lasertoaster.

Öhm ...
Ich meine es ernst.

Bitte erklären Sie das.
Laser sind schon heute ein ubiquitäres Instrument. Sie stecken in der Datenübertragung, der Supermarktkasse, im Autoscheinwerfer, in der Industrie und überall sonst. Laser ersetzen in der Produktion immer mehr umweltschädliche, nasschemische Prozesse wie etwa das Ätzen von Strukturen in Prägewalzen. Besonders eine Lasergattung hat hohes Potenzial für solche nachhaltige Prozesse: der Ultrakurzpulslaser, UKP.

**Warum ist der Ultrakurz-
pulslaser wichtig?**
Der UKP-Laser eignet sich für deutlich mehr Aufgaben, als wir ihn heute einsetzen. Er ist ultrapräzise. Dennoch setzen wir ihn noch für relativ wenige Anwendungen ein. Woran liegt das? Der UKP-Laser stößt gerade an eine interessante Grenze: UKP-Laser sollten eigentlich immer höhere mittlere Leistungen abdecken — ich spreche hier von der Multi-Kilowatt-Klasse — und diese zuverlässig

bereitstellen. Da sind wir aber noch nicht, denn die Entwicklungs- und Herstellungskosten dafür wären im Moment noch zu hoch, sodass sich das für die Breite des Marktes kaum rechnen würde. Hier werden bald regulatorische Maßnahmen die Märkte verändern, die nachhaltigere und ressourcenschonende Produktionsweisen vorschreiben. Denn der UKP-Laser kann eben sehr viele Prozesse klimafreundlicher machen.

Was könnte man mit den leistungsstarken UKP-Lasern sonst noch alles tun?
Ein vielversprechendes Feld sind die sogenannten Secondary Sources, bei denen Laserstrahlen andere nutzbare Strahlen schaffen, zum Beispiel Röntgen- und Partikelstrahlen. In der Mikrochipherstellung wird diese Technologie bereits erfolgreich in der EUV-Lithografie eingesetzt. Es gibt aber noch viele weitere Anwendungsideen für Secondary Sources. Aber wir sind noch auf der Suche nach der nächsten Killer-App neben etwa EUV, die den Markt weiter erschließen wird. Vielleicht wird diese aus der Medizin kommen, zum Beispiel bei der Krebsdiagnose und -behandlung. Vielleicht aber auch aus einer überraschenden Ecke. Wir wissen es noch nicht.

Wird das dann die Lasertechnologie insgesamt verändern?

Nicht sehr, nein. Es wird etwas anderes sein, das die Lasertechnologie nicht nur verändert, sondern völlig umkrempelt.

Was denn?

Ich denke an den Billionen-Dollar-Markt Energie. Ich denke an den heiligen Gral der Energiegewinnung: die Kernfusion. Im Herbst 2022 kam die Nachricht aus Kalifornien, dass das Lawrence Livermore National Laboratory den Durchbruch in der Kernfusion geschafft hat, genauer gesagt die National Ignition Facility, NIF: Erstmals gelang es, per Laser ein Plasma zu zünden; also eine Kernfusion auszulösen, die mehr Energie freisetzt, als sie zuvor über den Laserstrahl aufgenommen hat, ungefähr dreimal so viel. Ich selbst habe am NIF von 2006 bis 2019 gearbeitet und mit meinem Team unter anderem Laser der nächsten Generation, wie sie für den Betrieb eines Kernfusionskraftwerks notwendig werden.

Was bedeutet dieser Durchbruch für die Kernfusion?

Dass ein Kernfusionskraftwerk ein realistisches Ziel ist. Das Experiment zeigt, dass die Physik funktioniert: Das Plasma zündet und gibt mehr Energie ab, als es aufnimmt. Jetzt geht es darum, konkrete Technologien für ein Kraftwerk zu entwickeln. Darum brauchen wir jetzt die Ingenieure und die Industrie, um konsequent diese Vision in die Tat umzusetzen. In diesem Zusammenhang sehe ich auch

die Lasertechnologie, die den Schwung aus der Kernfusion aufnehmen sollte. Um die lasergenerierte Kernfusion wirtschaftlich zu machen, ist es notwendig, die Lasertechnologie zu skalieren. Das bedeutet, dass sie erheblich effizienter, robuster und leistungsstärker sein sollte. Und vor allem wesentlich kostengünstiger.

Wie viel denn?

Um die Größenordnungen klarer zu machen: Damit ein künftiges laserbetriebenes Kernfusionskraftwerk mit etwa einem Gigawatt Leistung wirtschaftlich arbeiten kann, sollte sein Bau nicht mehr als sechs bis acht Milliarden Dollar kosten. Davon entfielen vielleicht rund ein bis zwei Milliarden für die Laseranlagen, die sogenannten Beamlines. Bei heutigen Marktpreisen jedoch würden allein die Diodenlaser, die die Beamlines pumpen, rund 50 Milliarden verschlingen und etwa der doppelten globalen Jahresproduktion an gepulsten Diodenlasern entsprechen. Das muss 50-mal billiger werden, und das geht. Es geht jetzt ums Skalieren, Skalieren, Skalieren – in einem Maße, wie wir es aus der Halbleiterindustrie kennen.

Okay, klingt aber arg kühn. Wie soll das gelingen?

Klar, das ist eine kühne Vorstellung, aber die Kernfusion ist eine Aufgabe von globaler Bedeutung. Sie könnte eine saubere und unerschöpfliche Energiequelle bieten, die für Nationen und private Investoren gleichermaßen attraktiv ist. Wir am Fraunhofer ILT nehmen uns

„Es geht jetzt ums Skalieren, Skalieren, Skalieren – in einem Maße, wie es die Lasertechnologie noch nie gesehen hat.“

gerade zusammen mit der Industrie der Aufgabe an, die Lasertechnologie zu entwickeln und preiswerter zu realisieren, die später zum Beispiel die Treiberlaser ermöglichen soll. Dazu brauchen wir Innovationen, um etwa die Montage von Diodenlasern sehr viel kostengünstiger zu machen: durch Automatisierung – bei der Vereinzelung von Baren beispielsweise –, durch Packaging oder das automatisierte Aufsetzen von Linsen, um nur ein paar Ansatzpunkte zu nennen. Eine Produktion mit nahezu 100 Prozent Yield ist das Ziel. Und dann werden

selbst hochklassige Diodenlaser-Systeme auf einmal spottbillig. Vorbild für diese Skalierung ist die Produktion von LEDs – einst Hightech, heute Allerweltsprodukt. Wenn die Weltgemeinschaft sich mit Engagement auf die Kernfusion stürzt – und davon gehe ich aus –, haben wir in zehn bis 15 Jahren alle nötigen Technologien beisammen und bauen dann den ersten Demonstrator, der zur Jahrhundertmitte ans Netz gehen kann. Darauf folgt die Marktskalierung, und wenn dann weltweit jährlich – sagen wir mal – fünf bis zehn Kraftwerke ans Netz gehen, dann müssen wir jedes Jahr Laser mit einer Gesamtleistung von circa 700 Megawatt produzieren. Das wird den Laser- und Photonikmarkt umkrempeln.

Was heißt das alles für die Lasermaterialbearbeitung insgesamt?

Das heißt, dass das Zeitalter des Lasers gerade erst beginnt. Denn auf diesem kurzen, aber heftigen Innovationsweg der nächsten Jahre werden zahlreiche Entwicklungen und Neuerungen abfallen, die für jede andere Laseranwendung nützlich sind. Und der gewünschte Preisverfall revolutioniert die Lasertechnologie. Hightechlaser werden Massenware und deshalb Alltagsgegenstände – wie ein Schweizer Taschenmesser. Das führt natürlich dazu, dass immer mehr Laser für alles Mögliche eingesetzt werden, wo sie heute noch undenkbar und schlicht nicht wirtschaftlich sind.

Zum Beispiel im Lasertoaster!

Richtig. ■



Zur Person: Prof. Constantin Häfner leitet seit 2019 das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und unterrichtet Lasertechnik an der RWTH Aachen. Der Laserphysiker arbeitete zuvor mehr als zehn Jahre als Direktor des Programms Advanced Photon Technologies am Lawrence Livermore National Laboratory in Kalifornien.



„Die Kernfusion wird die Lasertechnologie völlig umkrempeln.“



KERNFUSION

Bei der Kernfusion möchten Forscher die Energieerzeugung der Sterne auf der Erde nachahmen: Per Hochdruck und bei Temperaturen von rund 100 Millionen Grad Celsius bringen sie Wasserstoffkerne zum Verschmelzen. Das setzt mehr Energie frei, als vorher hineingesteckt wurde. Es gibt zwei Ansätze:

1. Die Fusion über starke Reaktormagnete, wie zum Beispiel beim Internationalen Thermonuklearen Experimental-Reaktor (ITER) in Frankreich.
2. Die lasergenerierte Kernfusion, bei der viele starke Laser auf ein einziges Target – also ein Häuflein schweren Wasserstoffs – feuern und so die Kernfusion in Gang setzen. Erstmals gelang dies im Herbst 2022 einem Team am kalifornischen Lawrence Livermore National Laboratory (Bild links).

STOPPT DEN KORNKÄFER!

Sie überfallen Vorratslager, schleppen Krankheitskeime ein und vermehren sich rasch: winzige Schädlinge, die ihren Weg in noch so gut gesicherte Kornkammern finden. Gegen Kornkäfer & Co. haben Forscher das Laserschwert gezogen und ein intelligentes optisches Abwehrsystem entwickelt.



Gernot Walter / Die Megazimier



GUNNAR BÖTTGER vertritt das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) aus Berlin beim Verbundprojekt „Insektenlaser“ zusammen mit dem federführenden Berliner Julius Kühn-Institut und der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus.



Der Kornkäfer

[*Sitophilus granarius*] zerstört Ernten seit der Mensch das Ernten erfunden hat. Er verbreitete sich mit dem Ackerbau und frisst sich heute durch alle gemäßigten Regionen der Erde.



Die fliegende Dörrobstmotte

[*Plodia interpunctella*] nutzt unsere Vorräte als Kinderstube: Ihre Raupen fressen, verspinnen und verschmutzen alle Arten von Trockenvorräten von Dörrobst über Getreide bis zum Kaffee.

S

chädlinge fliegen, krabbeln, kriechen und schaffen es immer wieder hinein in landwirtschaftliche Lagerhallen oder lebensmittelverarbeitende Betriebe.

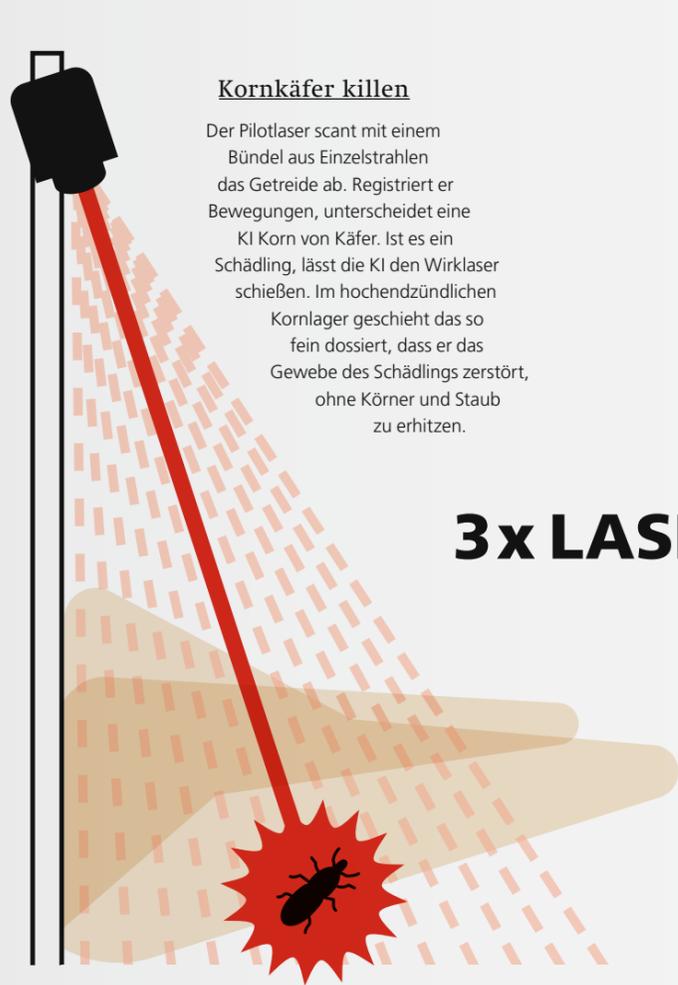
Dort soll das Festmahl möglichst schnell auch ihrem Nachwuchs schmecken. Darum ist sofortiges Handeln angesagt. Sonst könnte das Lagergut verderben und damit den Anteil des Getreides erhöhen, der nach der Ernte verloren geht. Aktuell sind das in Europa vier Prozent, umgerechnet ungefähr zwölf Millionen Tonnen. Dies schätzt die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen.

Gegen die fiesen Insekten kommen bisher giftige Gase zum Einsatz – allerdings erst nach dem Befall. Die Gase vernichten zwar die Tierchen, hinterlassen aber Spuren: Nach mehrmaliger Anwendung können sich Rückstände auf den Vorräten bilden. Diese schaden im schlimmsten Fall der Gesundheit der Konsumenten und der Umwelt. Forscher fragten sich deshalb: Wie könnten wir Käfer und andere Insekten früher und chemiefrei am Wickel kriegen? Der schlüssige Gedanke: Wie wäre es, die allerersten Eindringlinge gleich mit einem gezielten Laserschuss ökologisch verträglich zu erledigen? Science-Fiction-Vorbilder standen durchaus Pate bei dieser Idee. Zu deren Umsetzung bündelten drei deutsche Institute ihre Kompetenzen und entwickelten in einem mehrjährigen Förderprojekt den Prototypen eines Insektenlasers. Als erste lohnende Ziele nahmen die Forscher zwei der berüchtigtsten Insekten ins Visier: den kriechenden Kornkäfer, der am liebsten in Getreidelagern wütet, und die fliegende Dörrobstmotte, die bevorzugt auf lebensmittelverarbeitende Betriebe niedergeht.

STIRB SCHNELL Das Lasersystem arbeitet mit künstlicher Intelligenz (KI) nach der Reihenfolge „Lokalisieren – Erkennen – Zielen – Schießen“. Es nutzt dabei die Tatsache, dass sich die Tiere zunächst vor allem auf dem Getreide bewegen und nicht darin. Setzt sich ein Schädling auf Vorräte oder eine Wand, taucht er im Blickfeld der Kamera auf, so entdeckt ihn das von der BTU Cottbus entwickelte Bildverarbeitungsverfahren. In Windeseile analysiert die KI-Software das Insekt und vergleicht es mit abgespeicherten Referenzbildern. Ist der Übeltäter zweifelsfrei ermittelt, wird es ernst: Der Scanner richtet zunächst einen feinen roten Pilotlaserstrahl auf die Zielkoordinaten aus und markiert so das Ziel. Dann heißt es: Feuer frei für den Wirklaser.

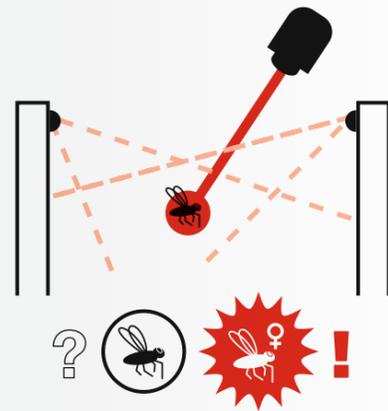
Innerhalb einer halben Sekunde von der Detektion bis zum Schuss ist das Insekt beseitigt. Kornkäfer und Dörrobstmotten erkennt das System inzwischen mit einer Zuverlässigkeit von über 90 Prozent. Bis dahin war es allerdings viel Arbeit: Für die Bildverarbeitung war es eine Herausforderung, die Schädlinge in den sehr großen Lagerhallen zuverlässig zu erkennen. Ein wenige Millimeter großer Käfer zwischen Getreidekörnern ist so auffällig wie die Nadel im Heuhaufen. Darum trainierten die Forscher die KI-Software ausgiebig mit Fotos und kurzen Videoclips der Schädlinge.

HIER KOCHT DER LASER Auch die Forscher des Fraunhofer IZM standen vor keiner leichten Aufgabe. Ihr Lasersystem sollte ausschließlich die Käfer vernichten. Vorräte, Verpackungsmaterial sowie Unterlagen und Wände mussten unversehrt bleiben. Dazu kommt die Feuergefahr: Auf keinen Fall darf der Laser trockenes



Kornkäfer killen

Der Pilotlaser scant mit einem Bündel aus Einzelstrahlen das Getreide ab. Registriert er Bewegungen, unterscheidet eine KI Korn von Käfer. Ist es ein Schädling, lässt die KI den Wirklaser schießen. Im hochendzündlichen Kornlager geschieht das so fein dossiert, dass er das Gewebe des Schädlings zerstört, ohne Körner und Staub zu erhitzen.



Photonischer Zaun

Auf Pfosten montierte Laser scannen den Raum zwischen den Pfosten. Kamera und KI erkennen und identifizieren Insekten anhand von Form und Flügelschlag — einwandfrei identifizierte werden in der Luft verbrannt. Entwickelt gegen Moskitos, die Übertragung in die Landwirtschaft läuft.

3x LASER vs. SCHÄDLINGE

Chemiefreie Unkrautbekämpfung

Das System aus Kamera und Wirklaser fährt das Feld ab. Der Computer erkennt Wildkräuter und ermittelt den idealen Belichtungspunkt. Der Laserscanner schießt einen wachstumshemmenden Infrarotpuls.

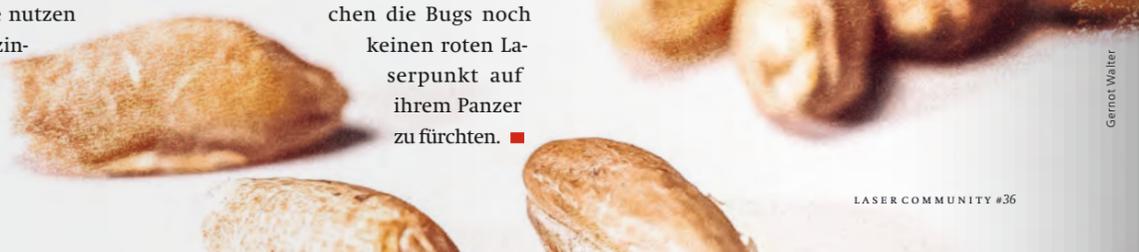


Getreide oder Verpackungsmaterial entzünden oder Staubexplosionen auslösen. Die aktuelle Forschung bot jedoch nichts, woraus sich Parameter hätten ableiten lassen. So fand das Team durch eigene Versuche heraus, welche Laserwellenlängen und Strahlintensitäten in diesem Fall passten.

Die Wahl fiel auf einen kommerziellen fasergekoppelten Diodenlaser, der mit einer Leistung von bis zu zehn Watt und 808 Nanometern (nm) arbeitet. Ein solcher Halbleiterlaser ist kleiner als eine Zigarettenschachtel und einfach zu verbauen, die äußerst preisgünstige Wellenlänge senkt zugleich die Herstellungskosten. Im Einsatz erfüllte er bei 8,44 Watt seinen Zweck: Die toten Motten zeigten versengte Flügel, die Käfer leicht verfärbte Panzer. Als alternatives Modul verwendeten die Fraunhofer-IZM-Forscher einen selbst aufgebauten, ebenfalls fasergekoppelten Diodenlaser mit 1.470 nm. Diese Wellenlänge nutzen auch Unternehmen aus der Medizintechnik. Sie koppelt gut in wässrige Materie — also mit Plasma gefüllte Körperzellen — ein.

Das gilt auch bei Insekten. Bereits bei zwei Watt kochte das Laserlicht das weiche Gewebe im Insektenkörper, ohne den äußeren Panzer zu beschädigen. Die Temperaturentwicklung schuf bei keinem der zwei Lasermodule Probleme für die Umgebung. Zur Strahllenkung und -formung kamen durchweg metallene Parabolspiegel zum Einsatz, da Glasoptiken nur eine jeweils abgestimmte Wellenlänge geeignet fokussieren können.

FAZIT Mit dieser Lösung aus Lasertechnik, automatisierter Bilderkennung und künstlicher Intelligenz erhielt die Landwirtschaft eine Grundlage für umweltfreundlichen Vorratsschutz. Der Weg in die Agrophotonik — die lasergestützte Landwirtschaft und deren industrielle Weiterentwicklung — ist damit offen. Bis es aber so weit ist, brauchen die Bugs noch keinen roten Laserpunkt auf ihrem Panzer zu fürchten. ■



Gernot Walter



Anton Zeilinger hat durch seine Experimente die Quantenphysik nutzbar gemacht.

GLORY

QUANTEN AUF DEN TISCH!

Anton Zeilinger holt die Quanten aus der Theorie in die Praxis und legt sie den Ingenieuren auf den Tisch.

Ein normaler Physiker ist Anton Zeilinger nicht, denn er blickt weit über die Grenzen seines Fachs hinaus. Auf YouTube etwa sind zahlreiche Diskussionen und Debattenbeiträge zu finden, in denen er grundsätzliche philosophische Fragen erörtert: Was ist Zufall? Haben alle Vorgänge in der natürlichen Welt eine Ursache? Und falls nein: Was bedeutet das? Welche Konsequenzen hätte es für die Wissenschaft, wenn nicht alles logisch ist? Diese Fragen betrachtet Zeilinger nicht als Hobby, für ihn ergeben sie sich aus den ausgeklügelten Experimenten und Schlussfolgerungen, die den Österreicher berühmt gemacht haben.

Der 78-jährige Zeilinger hat es sich zur Lebensaufgabe gemacht, die Quantenphysik aus der Theorie in die Praxis zu holen — und zu testen. Er entwickelt raffinierte technische Methoden, Quanten per Laser zu verschränken. Das heißt: Zwei oder mehr Quanten tauschen fortan ohne zeitliche Verzögerung Informationen über ihre Zustände miteinander aus. Sie reagieren, als wären sie ein einziges Teilchen, können dabei aber beliebig weit voneinander entfernt sein. Für diese Verschränkung sucht Zeilinger in bahnbrechenden Experimenten nach alltagstauglichen Anwendungen. Er und sein Team verschicken zum Beispiel erstmals quantenmechanisch

verschlüsselte Banküberweisungen durchs Glasfaserkabel, oder sie tauschen quantenbasierte Informationen zwischen den Inseln Teneriffa und La Palma aus — einfach durch die Luft. Dank der Forschung Zeilingers wird aus der Quantenmechanik eine Ingenieursdisziplin.

Heute nutzen Entwickler auf der ganzen Welt seine Erkenntnisse, um konkrete Produkte herzustellen, etwa hochgenaue, industrielle Quantensensoren oder die ersten Quantencomputer. Anton Zeilinger erhielt 2022 zusammen mit den Quantenforschern Alain Aspect und John F. Clauser den Nobelpreis für Physik. ■

Jacqueline Godany

LASER AUF GEHEIMER MISSION

Wenn niemand sich traut, hebt JT Automation die Hand. Die Maschinen des Unternehmens sind Einzelanfertigungen für oft streng geheimen Einsatz. Die Kreativköpfe sind auf Erfolgskurs – dank amerikanischem Erfindungsreichtum und deutscher Lasertechnik.

Tut mir leid, mehr darf ich wirklich nicht sagen.“ Scott Boynton von JT Automation (JTA) hält inne und grinst. „Nur so viel. Ich bin stolz darauf, dass das Produkt unserer Maschinen jeden Tag von Millionen von Menschen geschätzt wird. Vielleicht benutzen Sie es gerade!“ Die Rede ist von einem Kosmetikprodukt, wahrscheinlich die geheimnisvollste Laseranwendung, an der JTA bisher beteiligt war. „Der Kunde ist so besorgt, dass seine Konkurrenten Zugang zu der Technologie erhalten, dass er zwar den Rest der Bearbeitungsmaschinen in Asien, wo sie zum Einsatz kommen, entwickeln und bauen ließ, den kritischsten Prozess aber überließ er uns“, sagt Boynton, Mitbegründer des Automatisierungsspezialisten. Viele Projekte bei dem US-Unternehmen seien streng geheim, ergänzt Ryan Lombardini, Präsident von JTA. „Auch über den Großauftrag aus der Luftfahrtbranche, der den Durchbruch brachte, dürfen wir eigentlich nicht reden. So viel kann ich aber verraten: Wir haben für ein Luftfahrtunternehmen etwa 30 Maschinen in drei unterschiedlichen Ausführungen kreiert und sind nun dabei,

sie zu fertigen. Wir mussten etwa zehn neue Leute einstellen, um diesen fast 20 Millionen Dollar schweren Auftrag überhaupt bewältigen zu können – das hat uns richtig nach vorne gebracht“, erzählt Boynton. Und „nach vorne“ bedeutet für JTA eben auch ein neuer Komfort im Unternehmen. Bald steht ein Umzug an: Das Unternehmen zieht eine Stadt weiter, von East Granby, Connecticut, nach Windsor, und vergrößert seine Produktions- und Entwicklungsfläche um mehr als das Sechsfache. „Dadurch können wir das Unternehmen umstrukturieren und viel effizienter gestalten.“

DREI KÖPFE – EINE PHILOSOPHIE Boynton hat sich seit seinem ersten Job nach der Highschool bei Joining Technologies (JT) hochgearbeitet – und schließlich 2016 JT Automation mit den Geschäftsführern von JT mitgegründet. Denn der Bedarf an speziell auf Kundenwünsche zugeschnittene Laserbearbeitungsmaschinen wächst konstant, vor allem der Bedarf an automatisierten Arbeitsschritten. Weil Scott seine kreative Energie am liebsten in die Ent-

Automatisierung in Verbindung mit Laser ist so gefragt wie nie. Was hier genau entsteht? Leider geheim.

wicklung der Maschinen steckt, hat er die Geschäftsführung an Ryan Lombardini abgegeben. Lombardini, ein Eigengewächs der Firma, stieg 2016 als Praktikant ein: „Damals waren wir noch ein kleines Start-up mit einer Handvoll Leute“, erzählt er. „Heute sind wir über 30 und suchen weiterhin nach neuen Kollegen.“ Dass das Start-up so erfolgreich ist, geht auch auf die Kappe von Chef Nummer drei: Jeremy „Jay“ Drew. Er ist der Vertriebschef von JTA und findet immer genau heraus, was die Kunden benötigen. „Weil wir vieles von Grund auf neu entwickeln, haben wir alle Freiheit in der Entwicklung, um uns genau auf den Kunden einzustellen“, erklärt Drew.

Automation und Robotik sind gefragt und begehrt wie noch nie. Zum einen werden viele Produkte immer komplexer, was absolute Präzision erfordert. Zum anderen sind gut ausgebildete Fachkräfte rar und teuer – automatisierte Robotik besetzt die offenen Stellen und entlastet die bestehende Belegschaft. Dabei stellen Kunden ganz unterschiedliche Anforderungen, erzählt Drew: „Oft geht es um Neuentwicklungen, die wir von Grund auf planen und entwickeln. Manchmal möchten Kunden aber auch nur eine bestimmte TRUMPF-Arbeitsstation oder einen bestimmten Laser mit zusätzlichen Funktionen.“ Boynton fügt noch seine Lieblingsgeräte hinzu: „Wenn wir eine TRUMPF-Maschine personalisieren oder funktionell erweitern, greifen wir sehr gern zur TruLaser Cell 7040 oder zur TruLaser Station 7000. Beide ermöglichen es uns, eine optimierte Lösung zu weitaus geringeren Kosten und Vorlaufzeiten zu produzieren als ein vollständig kundenspezifisches System.“

ERFINDUNGSREICHTUM ALS KULTUR JTA entwickelt sich rasant weiter, erklärt Lombardini: „Unsere Mitarbeiter sind an ihren Aufgaben gewachsen. Viele unserer Ingenieure und Techniker sind in neue Rollen geschlüpft, haben Management- und Führungsaufgaben übernommen und neue Wege eingeschlagen. Es war also

nicht nur das finanzielle Wachstum, das uns Stabilität gebracht hat.“ Drew hebt die offene Unternehmenskultur als Erfolgsfaktor hervor: „Wir stellen unsere Mitarbeiter ein, weil sie gut sind in dem, was sie tun. Sie brauchen uns nicht, um ihnen zu sagen, wie sie ihre Arbeit machen sollen.“

Ein Beispiel für den Erfindungsreichtum von Boyntons Kollegen ist ein Projekt für die Medizintechnikbranche. Der Fortschritt in der Medizin erfordert, dass minimalinvasive chirurgische Instrumente immer kleiner werden. Das sprengt regelmäßig die Grenzen der Fertigungstechnologie. Als ein weltweit tätiger Hersteller von Medizintechnik eine Möglichkeit suchte, die Kosten für eine empfindliche, handgefertigte Baugruppe zu senken, wandte er sich an seinen bestmöglichen Lieferantenstamm. Die Herausforderung bestand im automatisierten Laden und Schweißen von Werkstücken mit einer maximalen Abmessung von weniger als 0,5 Millimetern – gar nicht so einfach. Ein Tipp führte das Unternehmen schließlich zu JTA. Boynton erinnert sich: „Der Kunde brauchte einen Anbieter, der Laserablation, Schneiden und Schweißen mit Präzisionsautomatisierung und Inspektion kombiniert, um ein System zu produzieren, das Hunderte von Baugruppen pro Stunde herstellt – im Vergleich zu dem Dutzend, das der bisherige manuelle Prozess erlaubte. Das war natürlich eine große Herausforderung, aber wir sahen einen Weg, den andere nicht kannten.“ Nach mehr als zwei Jahren Forschung und Entwicklung lieferte JTA das erste System aus. Der Kunde hat seitdem weitere Systeme bestellt, um seine Kapazität zu erweitern. „Es ist ungemein befriedigend, dieser Maschine bei der Arbeit zuzusehen, sowohl im Hinblick auf die komplexe Mikromechanik als auch auf die präzisen Abläufe. Das Wichtigste ist aber, dass der Massenproduktionsprozess Hunderttausenden von Menschen den Zugang zu dem lebensverändernden Verfahren ermöglicht hat, das unsere Maschine unterstützt“, sagt Boynton. ■

**Scott Boynton,
Jeremy Drew
und Ryan Lombardini
(von links) haben
ein Erfolgsrezept:
Sie lassen ihre Leute
einfach mal machen.**



Heute noch ein Traum,
bald Realität: komplexe
Proteinfaltungen beobachten.



F Frau Brock, ein Laser-Plasma getriebener Teilchenbeschleuniger – was ist das überhaupt?

Im Grunde ein Teilchenbeschleuniger im Kleinformat. Mit diesen können wir in Zukunft hochbrillantes Röntgenlicht genauso wie Partikelstrahlen aus Elektronen, Protonen oder Neutronen erzeugen. Heute gelingt das nur mit Beschleunigern, die über manchmal kilometerlange Vakuumröhren verfügen. Unser Beschleunigertunnel European XFEL bei DESY etwa ist über drei Kilometer lang. Eine neue Technologie schafft so eine Teilchenbeschleunigung in einem Plasma per Laser auf einem Raum von wenigen Zentimetern. Damit sind künftig Systeme möglich, die für Kliniken oder Unternehmen interessant werden, da diese in Laboren Platz finden. Die Technologie funktioniert. Jetzt geht es darum, sie so schnell wie möglich marktreif zu bekommen.

Werden die neuen, kleinen Strahlengeneratoren dann nicht die klassischen Teilchenbeschleuniger wie bei DESY abschaffen?

Nein, nein, da mache ich mir keine Sorgen. Die Laser-Plasma getriebenen Systeme werden kleine Spezialisten sein, die für ihre jeweilige Anwendung optimiert sind. Unsere Großforschungsanlagen hingegen sind wie ein Schweizer Taschenmesser: Sie sind für alle möglichen Aufgaben aus Forschung und Entwicklung geeignet.

Welche Anwendungen haben Sie denn im Sinn für die kleinen Beschleuniger?

Grundsätzlich gibt es da einen ganzen Strauß an Ideen: Materialprüfung, Batterieentwicklung oder Qualitätsprüfung bei Halbleitern. Die Arbeit unserer Innovationsplattform nimmt im Moment aber vor allem die Wirkstoffentwicklung für neue Medikamente in den Fokus. Denn da müssen wir dringend schneller werden.

PLATTFORM HI-ACTS Die von der Helmholtz-Gemeinschaft initiierte Innovationsplattform HI-ACTS verbindet wissenschaftliche und industrielle Entwicklungsansätze, damit lasergetriebene Teilchenbeschleuniger schneller marktreif werden. DESY koordiniert diese Innovationsplattform: www.hi-acts.de

INNOVATIONSPARTNER Bei HI-ACTS schließen sich Forscher aus Unikliniken, Forschungszentren der Helmholtz-Gemeinschaft und Fraunhofer-Instituten zusammen mit Industrieunternehmen wie TRUMPF, Beiersdorf, Siemens Healthineers oder Olympus.

Warum so dringend?

Uns sitzt die demografische Entwicklung in vielen Industrieländern im Nacken: Es leben dort immer mehr ältere Menschen, und damit häufen sich Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder Krebs. Auch die Pandemie hat uns gezeigt, wie wichtig es ist, dass neue Wirkstoffe für Medikamente schnell auf den Markt kommen. Im Moment dauert es im Durchschnitt zwölf Jahre von der Entdeckung bis zur Marktreife. Das ist zu lange. In der Regel wird heute auch nur ein einziger von 10.000 potenziell interessanten Wirkstoffen überhaupt zu einem Medikament.

Wie können da die Laserbeschleuniger helfen?

Mit ihnen werden wir tatsächlich beobachten können, wie sich Eiweißmoleküle beim Reagieren falten, und das per KI auswerten. Dieser Prozess ist entscheidend dafür, wie ein Medikament im Körper wirkt. Er ist hochkomplex und lässt sich bis heute weder vorhersagen noch im Einzelnen nachvollziehen. Mit Laserbeschleunigern können wir sehr kompakte und dabei intensive Röntgenquellen bauen, um zum Beispiel den

Weg eines Medikaments durch den menschlichen Körper quasi per Video nachzuvollziehen – auf die molekulare Struktur genau. Unser Ziel: künftig Zulassungsstudien vereinfachen und beschleunigen.

Sie bauen die Innovationsplattform HI-ACTS auf. Sie soll Forscher und Ingenieure zusammenbringen, um den Laserbeschleunigern auf die Sprünge zu helfen. Warum ist das wichtig?

Die Entwicklung stabiler, marktauglicher Laser-Plasma-Beschleuniger soll so schnell wie möglich gehen. Und da wollen wir uns Umwege ersparen. Konkret heißt das, wir wollen von Anfang an sinnvolle Industriestandards etablieren, Schnittstellen für den Betrieb mitdenken – und nicht nachliefern – oder auch Zertifizierungsprozesse parallel laufen lassen. Und wir müssen daran denken, dass die künftigen Nutzer der Geräte wahrscheinlich nicht alle ein abgeschlossenes Physikstudium haben. Die Systeme sollen also von Anfang an auch leicht bedienbar sein. Bei all dem hilft uns Wissenschaftlern der Blick der Industrie sehr. ■

DIE LASERMETHODE WIRD UNS NEUE MEDIKAMENTE BRINGEN

Sabine Brock vom Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY treibt die Entwicklung laserbasierter Teilchenbeschleuniger voran. Ein großes Ziel: schneller medizinische Wirkstoffe finden.



DESY Das Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY in Hamburg ist weltweit eines der führenden Forschungszentren für Entwicklung, Bau und Betrieb von Teilchenbeschleunigern. Neben naturwissenschaftlicher Grundlagenforschung wird dort auch anwendungsnah geforscht, zum Beispiel jüngst von TRUMPF zum Laserschweißen von Kupfer.

「AHEAD」



Tschechien

BLICK AUF DIE WIRTSCHAFT



Tschechien ist schon seit dem 19. Jahrhundert ein **industrielles Zentrum**. Der Übergang zur Marktwirtschaft 1989 gelang rasch.



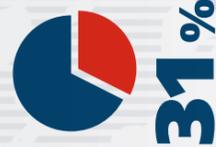
Pfeiler der Industrie sind **Automobilbau** (zum Beispiel Škoda in Pilsen) sowie Elektronikindustrie und Maschinenbau.



Der **Export** ist stark auf die EU ausgerichtet.

WILLKOMMEN IM LASERLAND TSCHECHIEN!

Industrieanteil an der Wirtschaftsleistung



26.849

nominales Bruttoinlandsprodukt pro Kopf



10,5 Mio.

Einwohner

LAND UND LASER

Das Land war schon **vor über 300 Jahren** ein Zentrum für Edelsteinschleiferei und Glasverhüttung. Das sind die Wurzeln der optischen Industrie.

Heute arbeiten rund 30.000 Tschechen in der **Photonikbranche**, in fünf Großunternehmen, 25 mittelständischen Betrieben oder Start-ups. Wichtige Produkte sind etwa gezüchtete Kristalle, High-End-Optiken oder komplexe Linsen.

Tschechien hat eine **starke Forschungszene** mit Top-Instituten und Hochschulen: Das TOPTEC-Institut in Turnov, das Laserforschungsinstitut in Dolní Břežany bei Prag sowie das benachbarte europäische ELI-Laserzentrum mit den intensivsten Lasern der Welt.



WO STECKT DER LASER



Im sorgenfreien Naschen — dank kontrolliertem Blutzucker. „In welchen Finger steche ich die Nadel heute?“ Für die meisten an Diabetes mellitus erkrankten Menschen Tag um Tag eine lästige Entscheidung bei der Prüfung des Blutzuckerwerts. Doch die dänische Firma RSP Systems weiß, wie man ganz ohne Stich und Blutvergießen misst: Winzige Laserdioden, sogenannte VCSEL, strahlen Licht auf die Hautoberfläche. Die Glukosemoleküle in der Zellflüssigkeit wirft das Licht mit einer charakteristischen Wellenlänge zurück. Diese Reflexion wird mit einer patentierten Berechnungsmethode ausgewertet, und nach Sekunden steht der Blutzuckerwert auf Millimol genau fest. Die Geräte sind derzeit noch so groß wie ein Festnetztelefon, doch werdensiedemächstaufdieGröße einer Armbanduhr schrumpfen. Dann haben Diabetiker das Gerät jederzeit griffbereit. Und sie können der Nadel bald den Finger zeigen. ■



ELI Beamlines, pyty / AdobeStock, Gernot Wälter

unsplash | luke wang

3 JAHRE SENSOR
10 QUANTENSSENSOR
10 JAHRE EUV-LITHOGRAPHIE
15 JAHRE UKP-LASER
24 JAHRE CHEILREINLASER
38 LASER JAHRE MASCHINEN
44 LASER JAHRE MASCHINEN
100 JAHRE TRUMPF

TRUMPF



LASERCOMMUNITY.37 erscheint im Herbst 2023.

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