

LASER COMMUNITY.

Über Menschen und Photonen



BOCK auf Weltraum



Tausende Raketenstarts,
neue Satellitenschwärme
und Mondstationen — wer
Laserbearbeitung kann, verdient
jetzt mit am New-Space-Boom.



LASER COMMUNITY. #38

AUSGABE Frühjahr 2024 **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/newsroom/kundenmagazine

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

AUTOREN Florian Burkhardt, Maria Seidenkranz, Julia Stolte, Sue Strickrodt, Monika Wagner

FOTOGRAFIE UND ILLUSTRATION Jan Hosan, Florian Jaenicke, Gernot Walter

GESTALTUNG UND PRODUKTION Die Magaziniker GmbH, Stuttgart, Gernot Walter (AD), Martin Reinhardt **ÜBERSETZUNG** Apostroph Group, Hamburg **REPRODUKTION** RaffDigital, Riederich **HERSTELLUNG** W. Kohlhammer Druckerei GmbH + Co. KG, Stuttgart



Liebe Leserinnen und Leser,

der Menschheitstraum von der Reise ins Weltall begleitet uns auch bei TRUMPF. Wir sitzen zwar nicht selbst in den Cockpits der Raumschiffe und wir werden wohl auch nicht selbst einen Fuß auf den Mond setzen, aber wir entwickeln und bauen Laser und Maschinen, die den Weg in neue Welten ermöglichen.

Die private Raumfahrt boomt in den USA, und auch in Europa und Japan nehmen aufstrebende Start-ups Fahrt auf. Ein Milliardenmarkt ist am Entstehen. Auf privaten Weltraumstationen etwa sollen Astronauten neue Medikamente erforschen. Die Pharma- und Biotechindustrie ist bereit, sich das einiges kosten zu lassen. Ein anderes Ziel haben SpaceX und Amazon. Mit den Satellitennetzwerken Starlink und Kuiper zielen sie darauf ab, für eine schnelle Internetverbindung auch in den entlegensten Winkeln unserer Erde zu sorgen. Und auch die staatlichen Raumfahrtorganisationen setzen sich ambitionierte Ziele. Die US-Raumfahrtbehörde NASA etwa konzentriert sich derzeit darauf, nach mehr als einem halben Jahrhundert wieder Astronauten auf den Mond zu bringen. Im Zentrum des chinesischen Weltraumprogramms steht die Raumstation Tiangong („Himmelspalast“). Damit will China Missionen in die Tiefen des Alls vorbereiten.

Bei TRUMPF verfolgen wir das Ziel, die Raumfahrtindustrie mit unseren innovativen Technologien voranzutreiben. Mit unseren Lasern und mit unserer Fertigungskompetenz helfen wir Raumfahrtunternehmen, Raketen, Satelliten und Raumfähren zu konstruieren, die nicht nur die Erdumlaufbahn erreichen, sondern ins All fliegen. Diese Entwicklung ist sowohl faszinierend als auch ein entscheidender Schritt für unser Unternehmen, einen noch jungen Markt mitzugestalten.

Dem Laser eröffnen wir damit neue Welten, die über die Materialbearbeitung hinausgehen. So sollen etwa Satelliten, die sich auf niedrigen Umlaufbahnen bewegen, künftig per Laser Daten austauschen.

Sie ahnen, welchen Schwerpunkt diese Ausgabe der *Laser Community* hat. So werfen wir in der Titelstory *ab Seite 12* einen Blick auf die neuesten Entwicklungen in der Raumfahrtindustrie. Wir diskutieren die Herausforderungen und Chancen, die das All mit sich bringt, und teilen Einblicke in die Projekte, die TRUMPF in den kommenden Jahren mitprägen wird. Wie ein Lasertechnik-Lohnfertiger von der „New Space“ genannten Kommerzialisierung der Raumfahrt profitiert, zeigt unser Report *ab Seite 6*. Und dass hoch entwickelte Lasertechnik eine entscheidende Rolle bei der Erforschung der Atmosphäre unserer Erde spielt, lesen Sie *ab Seite 18*.

Haben Sie viel Freude bei der Lektüre dieser Ausgabe und begleiten Sie uns auf der spannenden Reise zum Mond, ins All und zurück.

DR. RER. NAT. HAGEN ZIMER

Chief Executive Officer Laser Technology

Mitglied des Vorstands der TRUMPF SE+Co. KG



Fotografie

Maria Bürger führt zusammen mit ihrem Ehemann Hans und zwei ihrer Kinder die Firma. Eigentlich lieber im Hintergrund tätig, durften wir bei unserem Fototermin dieses Bild von ihr machen. Die anderen Bürgers sehen Sie auf **Seite 7**.



Biografie

Amazonas durchwandert, auf Gipfeln übernachtet, Eisbären auf Spitzbergen. Es war schwer, sich mit Josef Höffner aufs eigentliche Thema zu konzentrieren. Wir geben seine Nummer gerne an einen Biografen weiter; **Seite 18**.



KI-grafie

KI ist schon seit einigen Jahren eine gute Freundin der Laser-Community-Redaktion. Dieses Mal war der KI-Brainstorm zum großen Interview-Porträt erstaunlich nah am Endergebnis. Dieses sehen Sie auf **Seite 20**.

Jan Hosan, Fraunhofer IIT Aachen - Ralf Baumgarten, Die Magazinier & KI

LASER



Gernot Walter, Jan Hosan

COMMUNITY.

THEMA

12 EINMAL MIT ALL, BITTE

*Den neuen Wettlauf ins All bestreiten vor allem private Firmen.
Das funktioniert nur, weil sie so viel Laserbearbeitung einsetzen wie noch nie.*

6 Freude am Limit

Der Lohnfertiger BBW arbeitet nach dem Prinzip „Laser first, Bedenken second“.

10 POWER

Ein 3D-gedruckter Gasbrenner frisst die Hälfte.

11 GLORY

Zwei Freunde revolutionieren mit ihrem Lasersensor die medizinische Diagnostik.

18 AHEAD

Ein neuer LIDAR-Laser öffnet Atmosphärenforschern den Himmel.

20 „Bald liefern wir zum Mond!“

3D-Druck-Champion Maximilian Strixner vom Start-up The Exploration Company erzählt, wie private Firmen den Schritt ins All schaffen.

24 Ran an den Rohstoffschatz!

Recycling von E-Autobatterien ist schier unmöglich. Oder doch nicht?

25 Wartung bei Bedarf

Mercedes-Benz lässt weltweit über 200 Laserzellen nur noch warten, wenn es wirklich sein muss. Eine cloudbasierte Zustandsüberwachung sagt den richtigen Zeitpunkt voraus.

26 Der Laser geht auf Tauchstation

Mit einem neuen Lasersystem kann man endlich vernünftig unter Wasser schneiden und schweißen. Einsatzgebiete gibt es viele.

28 Läuft bei mir

Autozulieferer Gedia hat keine Angst mehr vor ungeplantem Maschinenstillstand.

30 LASERLAND

So lasert Singapur.

31 WO STECKT DER LASER?

Im Traktorkult.



11 DIAGNOSTIK



20 RAUMFAHRT



28 VERFÜGBARKEIT

Schweißen, schneiden,
bohren, entwickeln –
neueste Anlagen und
neugierige Experten sind
BBWs Erfolgsrezept.



Luft- und Raumfahrt, Halbleitertechnik, Mobilität der Zukunft — wer wissen will, wohin sich die Lasermaterialbearbeitung entwickelt, sollte diesem bayrischen Lohnfertiger bei der Arbeit zuschauen.

FREUDE AM LIMIT

In Prutting bei Rosenheim — malerisch im Grün Südbayerns zwischen Seen und Alpen gelegen — sorgt BBW Lasertechnik mit High-End-Lasern mit Strahlformung dafür, dass Zukunftstechnologien zum Fliegen kommen. Andreas Bürger, Co-Geschäftsführer von BBW, fasst seine Firmenphilosophie zusammen, als wäre das normal so: „Wir schauen halt, dass wir immer die neueste Lasertechnologie im Haus haben, und der Rest kommt dann schon.“ Der Rest — das sind seine Aufträge, seine Forschungsprojekte, seine Maschinen- und komplexen Produktdesigns. Also alles, mit dem BBW aus dem Pool der Laser-Lohnfertiger heraussticht. Wer wissen will, was auf dem Markt passieren wird, schaut einfach, woran das 200-Personen-Unternehmen gerade arbeitet.

BATTERIEN FÜR E-MOBILITÄT Als der Boom im Batteriebereich beginnt, geht Andreas Bürger im Geist seinen Maschinenpark durch. „Wir haben geschaut, was wir alles an Technik und Know-how im Haus haben, und fest-

gestellt, dass das alles wunderbar zur Batteriemodulproduktion und Speichertechnologie passt.“ Wo andere zunächst neue Maschinen kaufen und sich neues Know-how draufschaffen müssen, hat BBW alles schon da. Das Firmenmotto zahlt sich aus: „Wir haben immer gesagt, wir wollen unseren Kunden etwas Neues bieten, noch bevor sie uns danach fragen.“ Grundlage für dieses Neue ist BBWs Erfahrung in der Herstellung hochkomplexer Baugruppen und ihr Wissen zu zahlreichen Bearbeitungsstrategien auch schwieriger Materialien — denn immer dort, wo es scheinbar nicht mehr weitergeht, fangen sie an, forschen und zu entwickeln. „Wir suchen die Nische im Boom. Das hat sich bei den E-Fahrzeugbatterien voll ausgezahlt. Bei der Zellkontaktierung ist das Parameterfenster der Schweißprozesse gering, da die Zellen sehr empfindlich sind. Und bei unterschiedlichen Zelltypen braucht es unterschiedliche Strahlquellen und

„Wir haben immer gesagt, wir wollen unseren Kunden etwas Neues bieten, noch bevor sie uns danach fragen.“

Andreas Bürger, seit 2015 Co-Geschäftsführer und Sohn von Unternehmensgründer Hans Bürger

Bearbeitungen.“ Inzwischen geht BBWs Produktionsleistung zu fast 40 Prozent auf das Konto der Produktion von Batteriemodulen. Und das ist nicht die einzige anspruchsvolle Nische, die sie bedienen.

KNOW-HOW FÜR LUFT- & RAUMFAHRT

Am Firmenstandort in Prutting stehen verteilt auf mehrere Hallen etwa 50 Laser zum Schweißen, Bohren, Abtragen, Strukturieren, Feinschneiden und Laserreinigen. Doch laut Andreas Bürger gibt es auch Kunden, die man mit einem riesigen Laserpark allein nicht überzeugt. „Wir sind in sehr komplexen Branchen unterwegs, von der Batterie- und Medizintechnik über Elektronik im Halbleiterbereich bis zur Luft- und Raumfahrt. Deswegen müssen wir verschiedene Wege finden, wie wir unsere Kunden überzeugen“, sagt Andreas Bürger. Darum – und wegen der scheinbar unstillbaren Neugier der Gründerfamilie Bürger – gehören zum Unternehmen auch eine Entwicklungsabteilung und eine Metallografie. Diese führen beispielsweise am Beginn jedes Projekts eine detaillierte Machbarkeitsstudie durch und werten erste Versuche im eigenen Labor aus.



Jan Hosan

Was überzeugt, bleibt im Einsatz. Gleichzeitig investiert BBW regelmäßig in die aktuellsten Laseranlagen auf dem Markt und erweitert sein Portfolio stetig.





„Wir machen die Dinge gerne selbst, damit am Ende alles perfekt zusammenwirkt.“

**Andreas Bürger,
Co-Geschäftsführer BBW**

Die Batteriemodulfertigung läuft bei BBW so erfolgreich, dass sie bereits zum zweiten Mal in kurzer Zeit räumlich expandieren müssen.



Oft übernimmt BBW direkt mehrere Prozessschritte der Lasermaterialbearbeitung und sogar der Nachbearbeitung bis zur Herstellung ganzer Baugruppen. „Wir machen die Dinge gerne selbst, damit am Ende alles perfekt zusammenwirkt.“ Darauf kommt es auch an in den hochkomplexen Nischen, die BBW für sich beansprucht. Gerade die Zertifizierung für die Luft- und Raumfahrt ist nicht so leicht zu bekommen. „Da wird teilweise jede Schweißnaht geröntgt. Dazu müssen wir unsere Fachkräfte entsprechend schulen und diese Weiterbildung auch lückenlos dokumentieren. Aber dann geht das schon, wenn die Qualität stimmt.“

Für den hohen Qualitätsanspruch gibt es eigens eine Abteilung für den Maschinenbau: Viele der Laseranlagen sind made in Prutting – die Strahlquelle gekauft, die Anlage selbst konstruiert. „Und wenn die aktuelle Technologie dem, was wir erreichen wollen, ein Limit setzt, fangen wir zu forschen an.“

LOHNFERTIGER & LASERFORSCHUNG Weil keiner alles allein entwickeln kann, engagiert sich BBW in internationalen Forschungsprojekten. So haben sie sich für das Forschungsprojekt LaserComposite vom Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand einen grünen und einen infraroten Laser geschnappt und an dem Verschweißen von Alu-Kupfer-Mischverbindungen gearbeitet. Ergebnis: Ihr Fügeprozess vermeidet weitgehend, dass die Metalle sich dabei in der Naht zu unerwünschten intermetallischen Phasen, also Legierungen, vermischen. In ihrem eigenen Entwicklungsprojekt Weldshape wiederum ging es Schweiß-Heißrissen in der

dafür sehr anfälligen Alu-Legierung AW-6060 an den Kragen. Das Mittel zum Zweck: ein Prozess mit dynamischer Strahlformung in einer selbst gebauten Laseranlage mit 16-Kilowatt-Singelmode-Laser und Hochleistungsscanner.

Moment – Strahlformung? Richtig gelesen. Denn BBW ist so nah am Limit des technisch Möglichen, dass auch Strahlformung für sie eine Rolle spielt. Darum gehören zu den 50 Anlagen auch einige, an denen das Entwicklungsteam von BBW genau daran arbeitet, erklärt Andreas Bürger. „Auf Technologien zur Strahlformung läuft vieles hinaus. Damit können auch anspruchsvolle Aufgaben erledigt werden, die ohne sie nicht stabil laufen würden, etwa die Stabilisierung des Schmelzbades beim Laserschweißen. Wichtig ist für BBW, dass die Strahlformung variabel ist, weil unveränderliche Optiken für unsere Nischen in geringeren Losgrößen nicht wirtschaftlich sind“, sagt Andreas Bürger. Erst wenn die Optik individuell an die jeweilige Serie angepasst werden kann, lohnt es sich für BBW. „Und darum schauen wir jetzt halt mal, wie wir das nutzbar machen können. Ich glaube, außer uns hat kein Laserschweißer einen Strahlformer rumstehen.“ So wichtig das ist: Es kann am Ende aber nicht ausgleichen, wenn es an der Sauberkeit mangelt. „Darum müssen wir auch die richtigen Rahmenbedingungen schaffen und in die Entwicklung der Technik investieren, etwa in Reinraumtechnik und Materialanalyse. Aber das geht ja bei uns Hand in Hand.“ ■

Kontakt: BBW Lasertechnik GmbH,
Kristina Bürger, Telefon: +49 8036 90820-60,
k.buerger@bbw-lasertechnik.de

Unermüdlich am Verbessern und Erforschen — das macht Kunden glücklich und wurde 2023 mit dem Bayerns Best 50 Award prämiert.



POWER

Eine Struktur aus sogenannten dreifach periodischen Minimaloberflächen (TPMS) ist ideal für Gasbrenner. Herstellen lässt sie sich nur per 3D-Druck.

BRENNER GEDRUCKT, GAS GESPART, KLIMA GESCHÜTZT

Glas, Stahl, Zement – die Herstellung braucht immens viel Energie. Mit einem Gasbrenner aus dem 3D-Drucker kommt die Industrie mit der Hälfte aus.



Die Entwickler Bernd-Henning Feller, Jens te Kaat und Dan-Adrian Moldovan waren für ihren Brenner 2023 für den Deutschen Zukunftspreis nominiert, den der deutsche Bundespräsident für besonders innovative Leistungen verleiht.

Wer Glas, Stahl oder Zement herstellen will, braucht einen Industrieofen und vor allem: Energie. Viel Energie. Für eine Tonne Flüssigstahl sind es 500 Kilowattstunden. Diese Strommenge reicht einem Zwei-Personen-Haushalt ungefähr drei Monate. Bei der Stahlherstellung entfallen etwa 30 Prozent auf das Erdgas für die Einschmelzenergie. Doch Gas ist teuer und feuert den Klimawandel an. Die Industrie drosselt den Gasverbrauch, wo sie nur kann. Allein in Deutschland rauchen derzeit rund zwei Millionen Industriebrenner mit einer Leistung zwischen 25 und 300 Kilowatt. Durch den Einsatz neuer, hocheffizienter Brennervarianten will die Industrie Geld sparen und den CO₂-Ausstoß senken.

Rekuperationsbrenner versprechen ebendies. Sie beheizen Industrieöfen und nutzen dabei deren heiße Abgase, um die zugeführte kalte Verbrennungsluft zu erwärmen. Kueppers Solutions entwickelte nun eine besonders effiziente Variante, und das Schweizer Unternehmen Oerlikon druckte sie mittels Laser Metal Fusion. Ohne 3D-Druck gäbe es den neuen Brenner nicht. Denn der Trick beim Wärmetauscher ist seine Struktur – eine dreifach periodische Minimaloberfläche, auch TPMS-Struktur (triplly periodic minimal surfaces) genannt. Die Struktur ist wie ein Netz, das sich in alle Richtungen ausdehnt und dabei eine möglichst kleine Oberfläche bildet. In der Natur und in der Wissenschaft sind diese Oberflächen häufig zu finden, zum Beispiel in Zellen und Kristallen. Diese komplexe Struktur hat viele Vor-

teile: Sie verbessert die Strömungsführung, reduziert dadurch die Druckverluste und optimiert die Wärmeübertragung innerhalb des Rekuperators. Für die Hersteller von Brennern ist diese Struktur allerdings die reinste Zumutung. Die zahlreichen Metallflächen in unterschiedlichen Dicken sind auf verschiedenste Weise ineinander verdreht. Ein solches Bauteil durch Fräsen oder Drehen herzustellen, ist schlicht unmöglich.

Da hilft nur 3D-Druck. Er erschafft die TPMS-Struktur aus Metallpulver. Wie simuliert, so gedruckt. Und das zeigt Wirkung: Im Vergleich zu herkömmlichen Brennern senkt das neue System den Erdgasbedarf um 12 bis 50 Prozent. Zudem reduziert es auch den Ausstoß von Stickoxiden – teilweise sogar um mehr als die Hälfte. Während gewöhnliche Rekuperatoren bei einer Temperatur von 1.000 Grad Celsius eine relative Luftvorwärmung von 60 Prozent und damit eine Verbrennungslufttemperatur von 600 Grad Celsius erreichen, erzielt der gedruckte Verbrenner eine Verbrennungslufttemperatur von 900 Grad Celsius. Eine höhere Verbrennungslufttemperatur ist gleichbedeutend mit einer effizienteren Herstellung von Stahl, Glas und Zement. Und wenn sich demnächst ein Stahl-, Glas- oder Zementhersteller endgültig vom Gas verabschiedet, kann er die gedruckten Brenner einfach weiterbenutzen. Denn der Brenner lässt sich auch mit einem Gas-Wasserstoff-Gemisch oder mit purem Wasserstoff betreiben. ■

DIE ZWEI HERZKÖNIGE

Zeev Zalevsky und Javier García Monreal haben eine Technologie entwickelt, die mithilfe eines Lasers berührungslos Herz- und Lungenwerte von Patienten misst. Und auswertet. Und Befunde liefert. Das wird die Diagnostik revolutionieren.

Bald sagt Ihnen vielleicht auch Ihr Wohnzimmer, dass Sie weniger rotes Fleisch essen sollten. Oder schickt Ihre Vitalwerte auf Wunsch direkt zum Arzt. Möglich macht das die Technologie der beiden Professoren Zeev Zalevsky von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften an der Bar-Ilan University in Israel und Javier García Monreal von der Universität de València. Sie misst auf Abstand wichtige Körperwerte per Laser, sogar durch die Kleidung hindurch. Dass die Technologie funktioniert, beweisen bereits erste klinische Studien.

Die von den beiden Wissenschaftlern an der Uni in Tel Aviv entwickelte photonische Sensortechnologie erfasst winzige Vibrationen im Gewebe und damit eine Vielzahl an Vitalparametern. Dazu wird der Infrarotlaser zunächst aus einer Distanz von ein bis drei Metern auf den Patienten gerichtet. Zalevsky erklärt: „Die eigens entwickelte Kamera mit Spezialoptik misst das vom Patienten zurückgestrahlte Laserlicht und übersetzt die Informationen zu Atmung, Herzschlag oder Blutdruck in ein Diagramm, ähnlich einem EKG, aber deutlich feiner.“ Die Auswertung dieser hochkomplexen Daten übernimmt der von Zalevsky und

Monreal entwickelte Algorithmus. Trainiert mit Know-how zur Diagnostik kann er Abweichungen von gesunden Diagrammen präzise bestimmen und über alle messbaren Herzerkrankungen informieren. Monreal ergänzt: „Wenn wir sagen, da ist etwas, dann stimmt das auch.“

Das handliche Gerät, das ungefähr so groß ist wie ein Smarthome-Lautsprecher, lässt sich einfach auf den Schreibtisch des Arztes stellen. Die Technologie soll es aber auch zu Patienten ins Wohnzimmer schaffen. „Es gibt genügend Menschen, die das Haus nicht verlassen können. Mit unserem Gerät verhelfen wir ihnen zu mehr Lebensqualität.“

Zalevsky und Monreal arbeiten schon seit 30 Jahren erfolgreich zusammen. Zalevsky schwärmt: „Javier ist ein ganzes Team in einer Person – er weiß alles.“ Und Javier findet: „Zeev ist außergewöhnlich. Er macht ständig etwas Neues.“ Mit ihrer Arbeit gewannen sie 2023 den mit 30.000 Euro dotierten zweiten Platz des Innovationspreises der Berthold Leibinger Stiftung. ■



Ihr nächster freier Termin: sofort! Patienten könnten medizinische Daten künftig auch zu Hause erfassen.



NEW-SPACE-BOOM

Nicht nur neue Satellitennetzwerke kommen in den nächsten Jahren, auch an neuen Orbitalstationen und Mondbasen wird bereits gearbeitet.

DIE BESTEN DEALS DES UNIVERSUMS

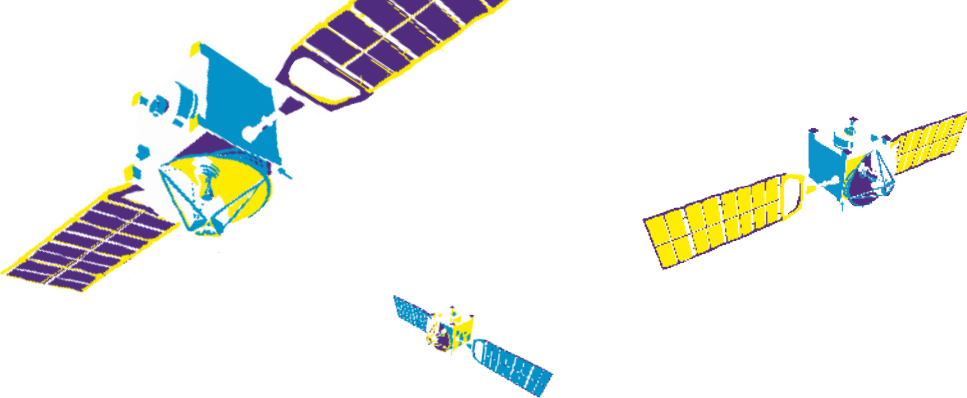
Wer sich jetzt auf den Raumfahrt-Boom einlässt, kann mit Lasermaterialbearbeitung ein Vermögen machen. Eine Empfehlung.



Auf einem Acker irgendwo in der Mitte Deutschlands: Ein Traktor zieht einen Gülletank und ein Landtechnikgerät hinter sich her. Dieses lockert den Boden streifenweise auf, 20 Zentimeter breit, 25 Zentimeter tief. In jeden Streifen injiziert das Gerät eine zwölf Zentimeter dicke Spur aus Gülle und schließt über ihr den Ackerboden. Im Orbit kreisen Satelliten, detektieren die Positionsdaten des Güllestreifens und senden sie dem Bauern ins Cockpit. Ein paar Wochen später ist es Zeit, den Mais zu säen. Die Saatmaschine legt mit Satellitenunterstützung die Samenkörner mit einer Genauigkeit von zwei Zentimetern mittig auf die vergrabene Güllespur, und bald darauf sprießen die ersten Maispflanzen. Der Einsatz von Gülle und die Nitratbelastung des Bodens sinken, der Ertrag hingegen steigt. Auch im weiteren Jahreslauf unterstützen die Weltraumhelferlein den Landwirt: Sie beobachten das Wachstum des Maises und liefern Daten zur gezielten Bewässerung und zum exakten Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln. Statt immer festedruck ein wortwörtlich zentimetergenauer Einsatz, nur dort, wo es nötig ist. In den riesigen Agrarlandschaften Brasiliens oder der USA fahren die Landmaschinen teilweise schon ganz ohne Mensch an Bord. Gesteuert von – klaro – Satelliten.


EIN GANZER SCHWARM SATELLITEN Zurzeit sausen etwa 8.000 Satelliten im Orbit um die Erde. Wenn Sie diesen Text erst 2030 lesen, werden es schon über 15.000 sein. Denn von nun an kommen jährlich rund 2.000 neue Satelliten hinzu. Fast alle davon sind Klein- oder Kleinstsatelliten, teilweise nur so groß wie ein Fußball. Sie verrichten ihre Dienste im erdnahen Orbit (Low Earth Orbit, LEO), also gerade hoch genug, um nicht auf den Boden zurückgezogen zu werden, und tief genug, um Daten superschnell mit der Erde auszutauschen. Nach drei bis fünf Jahren geht ihnen die Puste aus: Sie stürzen kontrolliert ab, verglühen, und neue LEO-Satelliten kommen nach, um sie zu ersetzen.

IHR WOLLT ES DOCH AUCH! Dass unser Handy-Navi die Positionsdaten aus dem Orbit gefunkt bekommt, weiß inzwischen jeder. Künftig werden wir auch zunehmend unsere Lieblingspodcasts und Tiktok-Videos aus dem All streamen. Der wirtschaftliche Durchbruch außerhalb von Ballungszentren ist bei klassischer Internetübertragung bereits erreicht: Es ist billiger, hordenweise Satelliten in den Weltraum zu schießen, als auf der Erde Glasfaserkabel zu verlegen, bis auch das letzte Dorf erreicht ist. Kein Bagger, keine Signalverstärkeranlagen alle paar Kilometer. Und es bleibt nicht bei weltweitem Highspeed-Internet bis in jeden Urwald hinein: Selbstfahrende Autos wollen bald ihren Weg durch die



Ein LEO-Satellit hält
rund fünf Jahre durch.
Dann wird er ersetzt.

Zulieferer suchen immer nach zusätzlichen Standbeinen. Warum nicht im All?



Stadt finden, Landwirtschaftskonzerne möchten daten-gestützt ihre Ernten steigern. Der Bedarf an Satelliten- beobachtung steigt auch mit der Klimaerwärmung: Ein ultraexaktes Monitoring von Stickstoffgehalt, Bodenzusammensetzung, Wetter, Temperatur und Waldbrandgefahr dürfte nicht nur Wissenschaftler begeistern. Auch zahlungskräftige Versicherer, Hochseefischereien oder Firmen aus dem Energiesektor melden Interesse an.

Zudem planen Privatunternehmen eigene Raumstationen mit neuartigen Geschäftsmodellen (siehe Interview Seite 20) sowie feste Mondstationen. Doch wie ist dieser Boom mit all den Raketen und Satelliten überhaupt möglich? Mit ganz viel Geld. Firmen mit Risikokapitalgebern setzen alles daran, die modernsten Designkonzepte und produktivsten Herstellungsmethoden flugs in die Raumfahrt zu bringen. Besonders die Lasermaterialbearbeitung und der 3D-Druck – beide gestählt durch jahrelangen Einsatz in Automotive, Luftfahrt und Medizintechnik – überzeugen die Weltraumingenieure. Hier finden sie den begehrten Dreiklang aus Designfreiheit, höchster Sicherheit und Produktivität.

GOLDGRUBE FÜR ZULIEFERER In der Raumfahrt steckt viel Geld, das jetzt an diejenigen Firmen geht, die die richtigen Bearbeitungsfertigkeiten besitzen. Zum Beispiel eine der Top 5 Space-Laseranwendungen (siehe Seite 16). Allein der private Sektor investierte 2021 weltweit über zehn Milliarden Dollar ins Weltraumgeschäft. Hinzu kommen großzügige Standortförderungen durch Staaten und höhere Budgets für die klassischen Raumfahrtagenturen. Klar, die Satelliten und Raketen boomen zwar, aber ein Massenmarkt wie Automotive werden sie absehbar nicht. Dennoch hilft ein Über-den-Daumen-Vergleich, um einschätzen zu können, wie viel Profit im Weltraumgeschäft für Zulieferer steckt: Um ein

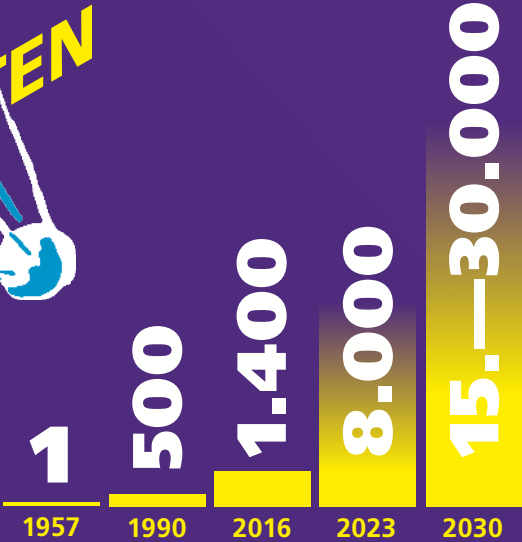
Kilo per Auto zu bewegen, geben Hersteller rund einen Cent aus. Ein Kilo per Flugzeug: 1.000 Dollar. Ein Kilo per Rakete: 5.000 bis 10.000 Dollar!

Es lohnt sich also, einmal darüber nachzudenken, ob nicht die Raumfahrt was für einen wäre. Zulieferer suchen ja immer nach neuen Standbeinen. Warum also nicht im All?

NEULICH AUF DEM MOND Irgendwo nahe am Südpol des Mondes: Die Sonde Odysseus der privaten US-Firma Intuitive Machines befindet sich im Landeanflug, dem heikelsten Teil der Mission. Der Mond hat keine Atmosphäre. Fallschirme sind nutzlos, nur Bremstriebwerke können die Landung abfedern. Sie müssen zu jeder Zehntelsekunde wissen, wie weit die Oberfläche noch entfernt ist, um die Bremsenergie exakt zu regulieren. Odysseus hat dafür einen Laserentfernungsmesser – aber: Vor dem Start im Februar 2024 haben die Ingenieure schlicht vergessen, einen Sicherheits-Kippschalter umzulegen. Das Hightech-Messgerät schläft. Sie merken es erst, als Odysseus schon im Weltraum ist. Zum Glück befindet sich ein weiteres Lasersystem an Bord, gedacht für etwas ganz anderes. Während Odysseus dem Mond entgegenrast, programmieren die Raumfahrtexperten den anderen Laser hastig um. Es gelingt, doch nicht perfekt: Der Mondlander zerschellt zwar nicht, aber er bricht sich ein Bein und kippt um. Die Antenne zeigt weg von der Erde, das Signal ist schwach. Es ist dennoch die erste erfolgreiche Mondlandung eines Privatunternehmens. Und wieder zeigt sich: Ohne Laser geht gar nichts mehr im Weltraum. ■

Kontakt: Marco Göbel-Leonhäuser, TRUMPF,
Telefon: +49 7156 303-35326, marco.goebel@trumpf.com

SATELLITEN IM ORBIT



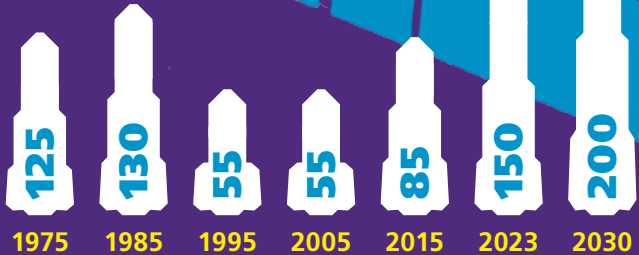
2021
320
Mrd.
\$

2030
620
Mrd.
\$

WELTMARKT FÜR RAUMFAHRT UND WELTRAUMGESTÜTZTE LÖSUNGEN

2040
1.250
Mrd.
\$

RAKETEN- STARTS PRO JAHR (GERUNDET)

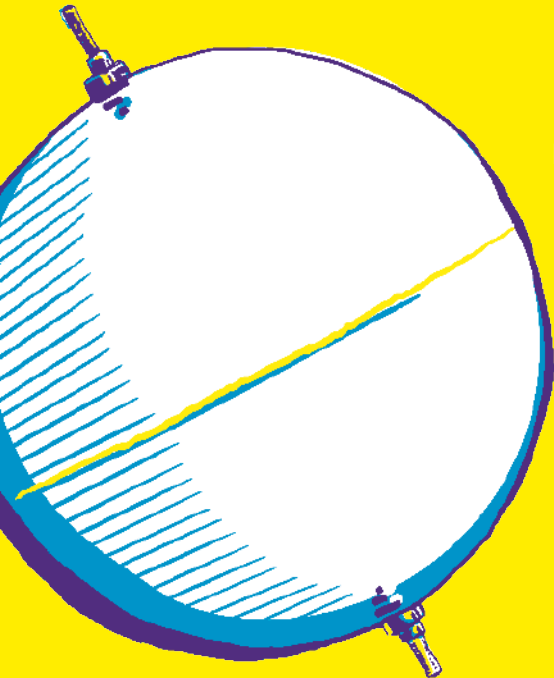


RAUM- STATIONEN

- 1998:** 2 Mir, International Space Station (ISS)
- 2024:** 2 ISS, China Space Station (CSS)
- 2030:** 5 ISS, CSS, Starlab, Orbital Reef, Lunar Gateway

Top 5

Laseranwendungen fürs All



dichtgeschweißter Kugeltank

EXTREMES DICHTSCHWEISSEN

Dass Laser exakt und ultrazuverlässig dichtschiessen können, haben sie zuerst bei Herzschrittmachern bewiesen, später bei E-Autobatterien. Auch die Raumfahrt macht sich jetzt das gesammelte Prozess-Know-how zunutze und schweißt Edelstahl, Alu, Titan und Superlegierungen wie Inconel. Hauptgründe sind die hohe Geschwindigkeit des Verfahrens von manchmal mehreren Metern pro Minute und die sauberen Nähte dank sensor-optimiertem Energieeintrag. Zum Standard steigt das Laserdichtschweißen dort auf, wo es besonders wichtig ist: bei Raketentanks. Wenn Techniker entdecken, dass diese auch nur die kleinste Menge Treibstoff durchlassen, muss das Team den Raketenstart abblasen. Entdeckt das Leck niemand, kommt es zur Katastrophe beim Starten der Triebwerke. Darum gehen Raumfahrtunternehmen lieber per Laser auf Nummer sicher.

UNGLEICHE VERBINDUNGEN

Ultrakurzpulslaser sind beim Schweißen so fein in der Energiedosierung, dass sie auch ungleiche Materialien bruchsicher und gasdicht fügen.

Zum Beispiel Glas und Metall. Diese Kombis sind besonders interessant für optische Komponenten an Satelliten und vielleicht auch mal für Fenster von Raumstationen. Topargument für diese Laserverbindung ist, dass sie direkt ist. Das heißt, es braucht keine umständlichen Schraubverbindungen oder temperaturanfällige Klebstoffe – die beide auch Gewicht mit sich bringen. Die NASA hat eine ultrakurzpulsgeschweißte Verbindung aus Glas und Invar, einer Speziallegierung, schon geprüft und plant ihren Einsatz. In vielen Fällen sind direkte Verbindungen mit Glas und einem anderen Material oder Glas-Glas-Verbindungen die einzige Möglichkeit, Glas im Weltall überhaupt einzusetzen. Auch Direktverbindungen mittels Kurzpulslasern von kohlenstofffaserverstärkten Thermoplasten und anderen Kunststoffen mit Metall ersetzen immer öfter klassische Schraubverbindungen.



Laser-Datenübertragung

GEDRUCKTE STRUKTURBAUTEILE

Jedes Kilo, das nicht da ist, macht den Flug ins All billiger. Für Raketen, weil sie mehr Nutzlast hochkriegen, wenn sie weniger wiegen. Und auch für die Nutzlast selbst wird das Ticket günstiger, wenn sie weniger auf die Waage bringt. Dies war der Hauptgedanke, als Unternehmen angingen, Strukturbauteile, wie etwa Kamerahalterungen, zu drucken: So wenig Material wie möglich verwenden und nur entlang der reinen Funktionalität aufbauen. Inzwischen ist auch klar, dass die Designrevolution die Bauteile nicht nur leichter, sondern sogar stabiler macht, weil bessere Konstruktionen möglich sind. Und zuletzt: Die Herstellung per 3D-Druck ist – besonders bei temperaturfesten Superlegierungen wie Inconel – am Ende deutlich günstiger als klassische mechanische Verfahren wie Drehen. In der Raumfahrt führen eigentlich fast alle Wege zum 3D-Drucker.

SATELLITEN-KOMMUNIKATION

Die Datenübertragung im All läuft bald über Lasersignale. Niedrig fliegende LEO-Satelliten rasen mit rund 7.800 Kilometern pro Sekunde (!) um den Erdball. Für eine stabile Datenverbindung reicht es also nicht, Kontakt zu nur einem LEO-Satelliten zu haben, denn der ist schon bald über einem anderen Kontinent. Es kommt auf das Netzwerk an. Die LEO-Satelliten sollen sich künftig per Laser austauschen: ein Laser-Infostrahl im Flug über tausende Kilometer hinweg. Auch der Austausch Orbit-Erde wird bald auf Laser umgestellt, denn die Laser haben eine bis zu hundertmal höhere Datenübertragungsrate als Funkwellen. Gute Nachrichten, denn der Bedarf an Datenaustausch steigt ja rasant durch Streaming, KI-Cloud-Computing, Internet of Things und viele weitere datenbasierte Dienste. Auch nützlich: Ein lasergestützter Datentransfer ist aus physikalischen Gründen abfangsicher – ein Spionageversuch würde sofort entdeckt. Schon heute funktioniert die Laserübertragung Satellit-Satellit und Satellit-Erde bei Hightech-Militärsatelliten. Experten schätzen, dass sich die Technologie in zehn Jahren auch bei kommerziellen Netzwerken durchsetzt.

Genot Weber

TRIEBWERKE UND THRUSTER ADDITIV FERTIGEN (AUCH KUPFER!)

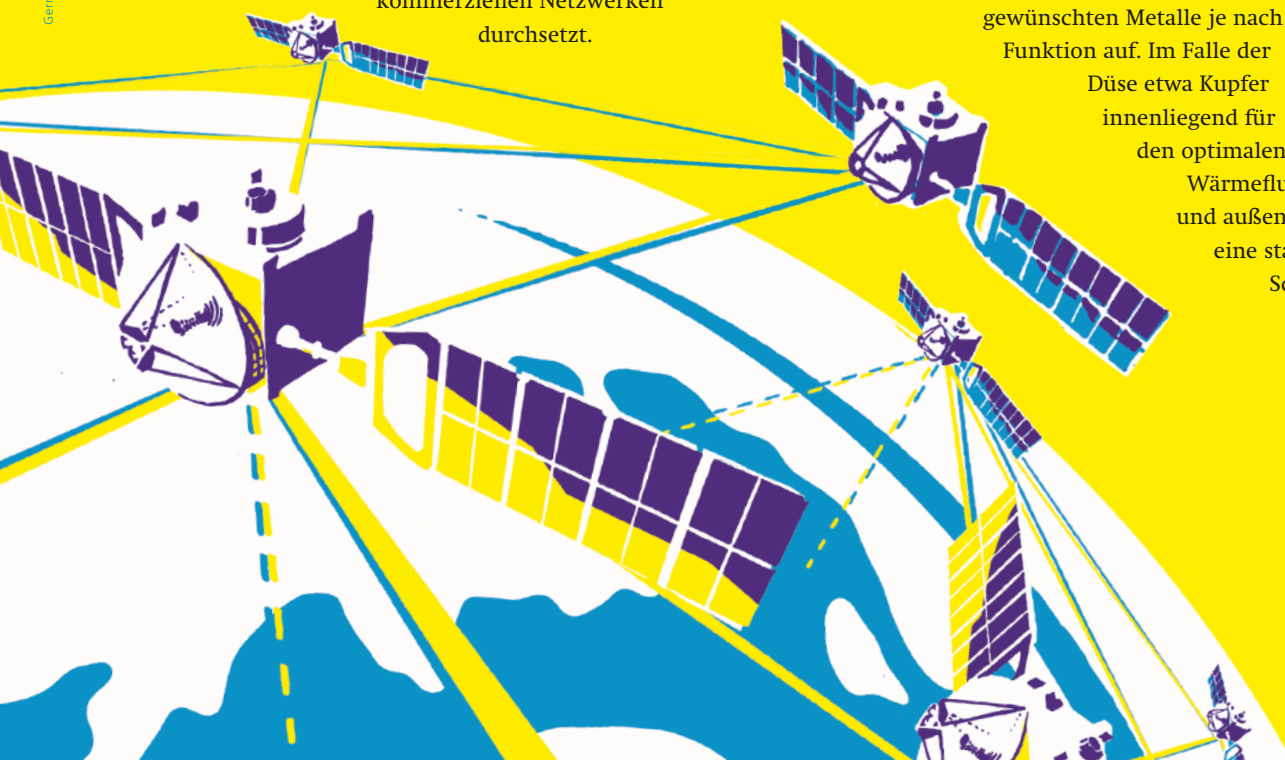
Raketentriebwerke und Thruster – kleine Triebwerke, die Sonden oder Satelliten ausrichten, bremsen oder beschleunigen – brauchen innenliegende Kühlkanäle für den Treibstoff, damit sie funktionieren. Bei Mini-Thrustern geht schon allein wegen der geringen Wandstärke nichts anderes als additive Fertigung und auch bei den größeren gibt es nicht Günstigeres. Per Laserauftragsschweißen gelangen auch größere Strukturen mit innenliegenden Kanälen wie etwa Triebwerksdüsen.

Zusätzlicher Clou: Das Verfahren ist bimettallfähig und baut die gewünschten Metalle je nach Funktion auf. Im Falle der Düse etwa Kupfer innenliegend für den optimalen Wärmefluss und außenliegend eine starke Inconel-Schicht für die Stabilität.

bimettallische
Raketendüse



Kamerahalter
für Satelliten



JETZT STEHT UNS DER HIMMEL OFFEN!

*Ein neu
entwickelter
LIDAR-Laser weitet
Atmosphärenforschern wie
Josef Höffner den Blick
in die Grenzschichten
unserer Erde.*

Herr Höffner, was ist dort oben in der Atmosphäre denn so spannend?

Puh, eigentlich alles. Stellen Sie sich die Atmosphäre wie einen Ozean vor: Wellen, Strömungen und sogar Gezeiten. Die Grenzen zwischen den Atmosphärenschichten heben und senken sich. Diese Wellen stoßen wiederum weitere Wellen an, Strömungen entstehen. Wenn wir das verstehen, werden auch unsere Klimamodelle und Wettervorhersagen besser. Mich fasziniert besonders die Mesosphäre. Sie ist die oberste Schicht der Atmosphäre und befindet sich in 80 bis 150 Kilometern Höhe. Sie ist die Grenzschicht der Atmosphäre, also der Übergang ins All. Kaum zu glauben, aber da gibt es einiges zu entdecken.

Was denn?

Die Erde ist unter ständigem Beschuss von Meteoriten. Die verdampfen in der Mesosphäre, deshalb bekommen wir hier unten davon meistens nichts mit. Dort hinterlassen sie Metallatome, die dann langsam nach unten rieseln. So kamen übrigens über Millionen Jahre hinweg Metalle, die wir heute nutzen, auf die Urerde. Also: Was dort oben passiert, beeinflusst uns hier unten und umgekehrt. Deshalb erforschen wir die Veränderungen.

Wie lässt sich etwas erforschen, das so weit weg ist?

Per Spektroskopie, einer Art Ferndiagnostik per Wellenlängenmessung. Dafür nutzen wir LIDAR-Systeme. Die funktionieren so: Der Laserstrahl regt zum Beispiel Kalium- oder

Höffner testet
sein neuartiges
LIDAR-System,
mit dem er
die Atmosphären-
forschung
revolutionieren
will.



JOSEF HÖFFNER Als Labor-Job kann man Josef Höffners Beruf nicht bezeichnen. Der Experte für optische Sondierung reist regelmäßig in die Antarktis, nach Spitzbergen und auf Berggipfel, wo seine Messungen besonders genau gelingen.

ALEXANDRIT-LASER Ein Alexandrit-Kristall deckt ein breites Wellenlängen-Spektrum ab und eignet sich für hohe Pulsenergien. Er ist jedoch auch eine kleine Diva: Zum Beispiel muss er auf spezielle Weise hochpräzise gepumpt werden.

Eisenatome in der Mesosphäre an. Die Atome streuen das Licht und die Teleskope im System fangen die gestreuten Photonen wieder auf. Daraus errechnen wir Art, Dichte, Temperatur sowie Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit der Teilchen. Das machen wir seit den 1990ern. waren unsere damaligen LIDAR-Systeme so groß wie ein Schiffscontainer, verbrauchten Tonnen an Diesel und benötigten einen riesigen Generator. Und sie funktionierten nur über eine kurze Zeitspanne hinweg und waren wartungsintensiv. Wir wollten aber kompaktere, zuverlässigere und leistungsfähigere Systeme. Vor mehr als zehn Jahren haben mein Team und

ich gemeinsam mit dem Fraunhofer ILT begonnen, eine ganz neue Version zu entwickeln. Jetzt ist sie da – die Spezialanfertigung des innovativen Alexandrit-Kristalls.

Und der ist jetzt handlicher?

Um einiges. Er ist diodengepumpt. Das macht den LIDAR so kompakt, aber auch langlebig und zuverlässig. Doch das ist nicht alles: Der Laser hat spektroskopisch gesehen nahezu die perfekten Eigenschaften. Dadurch können wir in größeren Bereichen der Mesosphäre präziser messen. Bisher brauchten wir für jede Messgröße ein eigenes LIDAR-System. Die neue Technik macht es uns perspektivisch möglich, mit nur einem System viele Parameter gleichzeitig zu bestimmen – und das rund um die Uhr. Mit anderen Worten: Der Himmel steht uns jetzt so offen wie nie.

Aha, und was bringen uns diese Informationen?

Na ja, die Menschen verändern derzeit die Zusammensetzung der Mesosphäre massiv. Das sollten wir im Auge behalten. Beinahe jede Woche startet eine Rakete und bringt durch den Treibstoffausstoß und den Wie-

derintritt zusätzliches Material in die Atmosphäre. Das Gleiche gilt für Satelliten, die nach ein paar Jahren Lebensdauer wieder in die Mesosphäre gelangen, verglühen und dort Metallteilchen und andere Stoffe hinterlassen. Sie müssen wissen: In der gesamten riesigen Mesosphärenschicht gibt es zusammengenommen gerade mal drei Kilo Kalium. Das ist sehr wenig. Es braucht also wirklich nicht viel Eintrag, um die Teilchenmischung stark zu verändern. Viele der exotischen Satelliten-Metalle sind chemisch gesehen Katalysatoren, also Reaktionsverstärker. Es ist ein großes Experiment, und wir wissen noch nicht, wie es ausgeht. Daher ist es so wichtig, dass wir die Veränderungen der Atmosphäre kontinuierlich beobachten.

So eine Art Atmosphären-Wetterdienst also?

So könnte man es ausdrücken. Unser Ziel ist es, ein weltweites LIDAR-Netzwerk aufzubauen. Wir arbeiten derzeit daran, LIDAR-Systeme an mehreren Standorten in Europa aufzustellen, die mit wenig Aufwand die Atmosphäre beobachten. Bis es so weit ist, wird es jedoch noch ein paar Jahre dauern. ■

GEBALLTES KNOW-HOW Die LIDAR-Technologie vereint Experten: Mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen und dem Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik in Kühlungsborn treffen 35 Jahre Lasertechnik-Expertise auf Erfahrung in der Feldforschung zur Atmosphäre.



Fraunhofer ILT Aachen, Ralf Baumgarten

„BALD LIEFERN WIR ZUM MOND

Maximilian Strixner verantwortet die additive Fertigung beim deutsch-französischen Raumfahrt-Start-up The Exploration Company. Hier erklärt er, warum die kommerzielle Raumfahrt boomt und dabei auf 3D-Druck angewiesen ist.



H

Herr Strixner, nervt es Sie, dass alle Ihr Unternehmen „das europäische SpaceX“ nennen?

Gar nicht. Ich nehm's als Kompliment, dass wir in einem Atemzug mit dem US-Raumfahrtgiganten genannt werden. Wir machen zwar keine Raketen wie SpaceX, sondern Transportkapseln. Aber beide sind wir Teil der New-Space-Bewegung.

Was verstehen Sie unter „New Space“?

Eine neue Ära in der Raumfahrt! Bisher war das eine Angelegenheit staatlicher Unternehmen.

NASA, ESA, Roskosmos und so weiter. Die haben der Menschheit den Kosmos geöffnet und konnten dafür viele öffentliche Fördergelder verbrauchen. Jetzt kommen private Firmen wie wir ins Spiel. Und wir wollen Geld verdienen. Plötzlich geht alles rasant und in sämtliche Richtungen gleichzeitig: SpaceX revolutioniert den Raketenbau. Blue Origin, ebenfalls aus den USA, fertigt gerade eine kommerzielle Raumstation für zehn Menschen. Weltweit entstehen zurzeit sechs bis acht privat betriebene Raumstationen für den Erdborbit und sogar zwei Mondstationen. Alles mit einem bislang unvorstellbar kurzen Zeithorizont von fünf bis zehn Jahren.

Okay, aber wie will man denn mit einer Raumstation Geld verdienen?

Gute Frage. Eine Antwort darauf ist Weltraumtourismus. →

Klingt vielleicht exotisch, aber es gibt genug reiche Menschen auf der Erde, die dafür tief in die Tasche greifen würden. Die zweite Antwort ist Forschung und industrielle Entwicklung. Die gibt es zwar schon lange im All und auf der ISS. Doch bald läuft es anders als bisher: Die Betreiber von Raum- oder Mondstationen forschen entweder selbst und vermarkten dann ihre Ergebnisse. Oder Firmen und Institute mieten ihre Entwickler dort ein oder geben Experimente in Auftrag, für die sie bezahlen. Wir wissen, dass zum Beispiel die pharmazeutische und die Biotech-Industrie bereit sind, sich so was einiges kosten zu lassen.

Was ist so toll an teuren Experimenten im All?

In der Schwerelosigkeit oder bei reduzierter Schwerkraft auf dem Mond lassen sich völlig andere Experimente betreiben als auf der Erde. Zum Beispiel laufen Zellwachstum und Alterungsprozesse dort anders ab. Die Wissenschaftscommunity erhofft sich davon innovative biologische und chemische Substanzen oder Materialien wie neuartig gezüchtete Kristalle. Und dafür wird es Käufer geben. Es gibt auch noch Geschäftsideen, die sich erst in

*„Als
privates
Unter-
nehmen
müssen
wir schnell
von der
Idee zum
Produkt
kommen.“*

fernerer Zukunft rechnen könnten: Etwa der Abbau von Rohstoffen oder die Produktion von Treibstoffen auf dem Mond. Als Zwischenstation für den Weiterflug zum Mars etwa.

Und wie sieht jetzt das Geschäftsmodell der Exploration Company aus?

Ganz einfach: Immer wenn etwas in den Weltraum muss oder zurück zur Erde, kommen unsere Raumkapseln ins Spiel. Zunächst zum Transport von Dingen, später womöglich auch zur Beförderung von Personen. Private Unternehmen werden erdnahe Satellitennetze in den kommenden Jahren massiv erweitern. Das steigert die Nachfrage nach Nutzlasttransport ins All. Genauso wie der Bau und Betrieb der geplanten Stationen im Orbit und auf dem Mond. Wir liefern also bald zum Mond! Unsere Kapseln werden sogar als Teil eines orbitalen Tankstellennetzes dienen, wo Raumfahrzeuge kurz nach dem Start neuen Treibstoff aufnehmen. So starten sie auf der Erde mit weniger Last.

Wie beeinflusst es Ihre Arbeit, dass Sie private Investoren haben, die irgendwann Rendite sehen wollen?

Wir müssen schnell von der Idee zum Produkt kommen. Wir haben drei Jahre gebraucht, um die kleinere Kapsel Bikini zu bauen und die erste Mission zum Großteil zu entwickeln. 2025 planen wir den ersten Demoflug, 2026 die erste echte sechsmonatige Mission im Orbit. 2028 soll unsere Kapsel auf dem Mond landen. Unseren Geldgebern ist klar, dass in der Branche nicht alles von heute auf morgen geht. Aber übermorgen wäre schon schön. Wir müssen uns also sputen.

Wie schaffen Sie es, Ihre Produkte so schnell zu entwickeln?

Wir setzen konsequent die innovativsten Fertigungsmethoden ein, zum Beispiel 3D-Druck. Denn gerade beim Prototypenbau spart das viel wertvolle Zeit. Das beste Beispiel ist die Entwicklung unserer Triebwerke, die später die Kapsel im All bewegen und ausrichten. Die Iterationsstufen von Simulation, Prototypendesign und -bau, Test und wieder von vorne – das läuft bei uns in Tagen und Wochen ab statt in Monaten, wie es in der Luft- und Raumfahrt immer noch

Da lässt sich Nyx machen: Früher wurden in der Werkshalle Plastikstühle produziert, jetzt tüfteln Maximilian Strixner und sein Team an einer modularen, wiederverwendbaren und orbital auftankbaren Transportkapsel ins All. 2028 soll die Nyx getaufte Kapsel sogar zum Mond.

oft üblich ist. Das liegt daran, dass Designänderungen beim 3D-Druck ruckzuck gehen—einfach über Nacht neu drucken. Außerdem müssen wir nicht auf die Werkzeugbauer warten. Aber 3D-Druck ist im Triebwerksbau für Raketentriebwerke dieser Art eh alternativlos.

Wieso alternativlos?

Ein Triebwerk, wie wir es für unsere Kapsel brauchen, ist mit konventionellen Methoden

Und der 3D-Druck tötet die Designfreiheit nicht?

3D-Druck ist Designfreiheit. Er erlaubt uns, die Bauteile einzig unter dem Gesichtspunkt der optimalen Temperatureaufnahme und der mechanischen Lastflüsse zu konstruieren. Wir müssen keine Rücksicht auf Limitierungen durch Herstellungsverfahren nehmen, etwa, dass eine Fräse keinen Hinterschnitt um die Kurve herum machen kann. Sol-

Könnte man meinen, ist aber nicht so. Klar, jeder Raketenstart setzt gigantische Mengen CO₂ frei. Das lässt sich nicht abstreiten. Aber gerade weil die Starts seit Jahren mehr und mehr werden, setzen die New-Space-Firmen alles daran, dabei immer weniger Ressourcen zu verbrauchen. Das ergibt sich schon aus wirtschaftlicher Logik. Bei der Exploration Company ist Nachhaltigkeit

Allein dadurch sparen wir auf der Erde so viel Treibstoff, Düngemittel und Pestizide, dass sich die Emissionen bei den Raketenstarts für die Satelliten gelohnt haben werden. Bei allem Finanziellen: Mir ist wichtig, zu sagen, dass die Erforschung und Erkundung des Weltraums auch ein Bildungsprojekt für die Menschheit ist — und darum wichtig für Politik und Fortschritt.

„Entscheidend ist, dass wir bei den Prototypen durch 3D-Druck viel Zeit gewinnen.“

schlicht kaum herstellbar. Es sind kryogene, also extrem kalte, Triebwerke mit regenerativer Kühlung. Das bedeutet, der Treibstoff dient selbst als Kühlmittel: erst kühlen, dann brennen. Wir verwenden flüssiges Biomethan. Das Methan fließt durch innenliegende Kanäle um die Brennkammer herum und kühlt sie. Danach kommt es in die Brennkammer, wird mit flüssigem Sauerstoff gemischt und gezündet. Neu ist das Prinzip nicht. Und es lässt sich durchaus auch mit konventionellen Herstellungsmethoden umsetzen. Aber es ist elendsaufwendig und teuer. Der Bau eines einzigen Prototyps dauert Monate. Und wir brauchen immer wieder neue. Wirtschaftlich ist das null konkurrenzfähig mit dem 3D-Druck. Und es tötet die Designfreiheit. Unsere Triebwerke müssen nur rund 40 Zentimeter klein sein. Bei dieser Größe und der entsprechend geringen Wandstärke zwischen den innenliegenden Kanälen funktioniert nur noch 3D-Druck.

che Limits gibt es beim 3D-Druck nicht, dem Drucker ist egal, wie komplex die Geometrie ist. Die Komplexität kommt gratis dazu. Mit diesem Ansatz kommen wir also quasi automatisch zur leichtesten Version des Bauteils. Der heilige Gral in der kommerziellen Raumfahrt.

Warum heiliger Gral?

Das Stichwort heißt „Payload“: Jedes Kilo der Transportkapsel kostet Geld, jedes Kilo der Nutzlast bringt Geld. Oder anders: Jedes Kilogramm, das die Transportkapsel weniger wiegt, kann sie mehr bezahlte Nutzlast ins All tragen. Und das bei jedem einzelnen Flug. Nebenbei gesagt: Wir sparen durch die leichteste, gedruckte Bauform auch schlicht Material. Sie müssen wissen: Wir nutzen richtig teure Speziallegierungen! Das läppert sich. Und nachhaltig ist es auch.

Na ja, Nachhaltigkeit ist nicht gerade das, was uns in den Sinn kommt, wenn wir an Raumfahrt denken ...

tief in der Firmenstrategie verankert. Ich sagte bereits, dass wir für den Antrieb im All Biomethan und Sauerstoff als Treibstoff verwenden — beides lässt sich mit regenerativen Energien herstellen. Und es gibt noch einen zweiten wichtigen Nachhaltigkeitstrend, der durch New Space aufkam: Wiederverwendbarkeit. Bisher waren Raketen oder Transportkapseln Wegwerfprodukte. Ein Mal benutzt, danach sind sie Schrott. Unsere Kapseln jedoch werden mehrfach ins All und zurück fliegen. Ein paar Komponenten wie etwa den Hitzeschild müssen wir austauschen, die gehen beim Wiedereintritt leider kaputt, da lässt sich nichts machen. Und zu diesem Thema noch ein weiterer Gedanke: Die Raumfahrt trägt zur Nachhaltigkeit bei. Das beste Beispiel ist für mich Precision Farming, eine nie gekannte Optimierung der Landwirtschaft mithilfe von Erdbeobachtungssatelliten.

The Exploration Company ist ein deutsch-französisches Unternehmen. Warum?

Nicht deutsch-französisch, sondern europäisch. Und das ganz bewusst: Wir wollen Europas alternativer Zugang zum All sein. Das hat politische Gründe, aber auch praktische: Die Kollegen in Bordeaux haben eine hohe Kompetenz in der Antriebstechnik, wir hier bei München sind Experten für Fertigungstechnologie. Seit Anfang dieses Jahres haben wir auch einen Standort in Turin, einem weiteren europäischen Zentrum für Raumfahrt.

Herr Strixner, wollen Sie dann eigentlich auch mal selbst ins All?

Danke nein, mir gefällt es auf der Erde ganz gut, das reicht mir. Hm, auf der anderen Seite: Weltraumfahrt wird sicher noch lange nicht normal sein, aber doch bald sehr viel weniger ungewöhnlich als heute. Machen wir es so: Fragen Sie mich das in 30 Jahren noch mal.

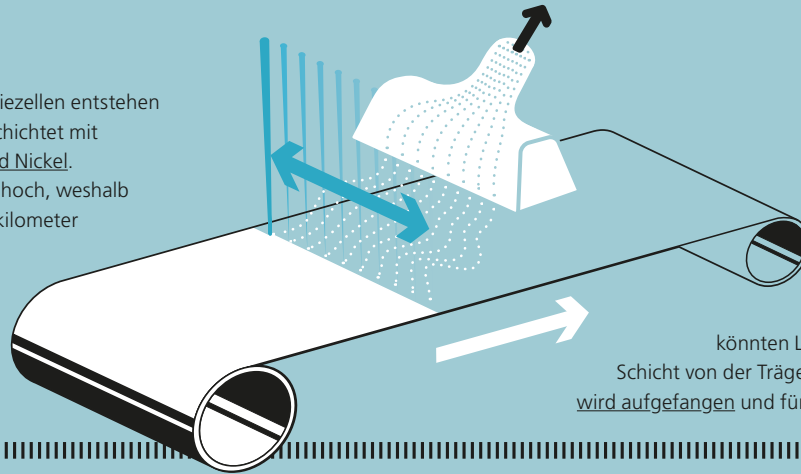
Abgemacht. ■

The Exploration Company Hélène Huby gründete das Start-up 2021 zusammen mit einer Gruppe erfahrener Raumfahrtingenieure. Seither sammelt das Unternehmen Finanzmittel privater Investoren ein. Ziel ist, Kapseln für Nutzlasten und Personen zu entwickeln, selbst zu bauen und zu betreiben. Der Flug einer Demokapsel ist für 2025 geplant. 2026 wird dann die echte Kapsel namens Nyx 4.000 Kilo Nutzlast ins All bringen. Die Hauptstandorte sind Bordeaux in Frankreich und Planegg bei München in Deutschland.

Rohstoff-Rückgewinnung in der Elektrodenfertigung

PROBLEM

Die Elektroden für neue Batteriezellen entstehen als endlose Folienstreifen, beschichtet mit wertvollem Lithium, Kobalt und Nickel. Der Qualitätsanspruch ist sehr hoch, weshalb sich immer wieder viele Folienkilometer als Ausschuss erweisen.



IDEE

Abtragen, wiederverwerten. In einer künftigen Recyclinganlage könnten Lasertechnologien die hauchdünne Schicht von der Trägerfolie ablösen. Der kostbare Staub wird aufgefangen und für neue Beschichtungen aufbereitet.

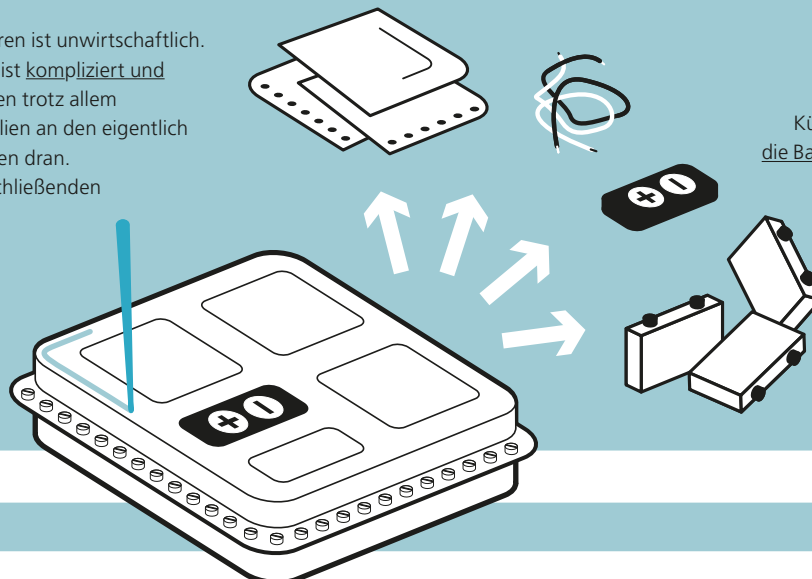
Ran an den Rohstoffschatz!

Die Batterien für Elektroautos stecken voller kostbarer Rohstoffe. Darum schreibt die EU vor: nichts verschwenden, wiederverwenden! Doch wie rankommen an die Schätze?

Effiziente Demontage auf dem Recyclinghof

PROBLEM

Batterien zu demontieren ist unwirtschaftlich. Es geht nur von Hand, ist kompliziert und langsam. Und es bleiben trotz allem oft viele Fremdmaterialien an den eigentlich wertvollen Batteriezellen dran. Das erschwert die anschließenden Aufbereitungsschritte.



IDEE

Künftig könnten Laser-Recyclingmaschinen die Batterieschätze wirtschaftlich demontieren. Hoch automatisiert schneiden sie Kabel ab, lösen Abdeckungen und zerlegen Kontaktierungen — und das alles nur mit Licht. Anschließend lassen sich die Rohstoffe mit höherer Reinheit recyceln und noch nutzbare Batteriezellen direkt vereinzeln und weiterverwerten.

WARTUNG BEI BEDARF

Wer seine Laseranlagen cloudbasiert überwacht, braucht weniger Wartungsarbeiten und geht trotzdem auf Nummer sicher. So macht es Mercedes-Benz.



Im globalen Produktionsnetzwerk von Mercedes-Benz arbeiten über 400 Laserzellen von TRUMPF an verschiedenen Standorten. Der Heilige Gral in der Hightech-Serienfertigung des Automobilherstellers lautet Resilienz: Keine Komponente, keine Maschine darf ungeplant stillstehen, sonst entstehen schnell enorm teure Produktionsausfälle. Darum gab es bei Mercedes-Benz ein fest definiertes Zeitintervall für Wartungsarbeiten direkt an den Laseranlagen. Doch wer so auf Nummer sicher geht, ist sich natürlich bewusst, dass dabei einige unnötige Arbeiten anfallen an Maschinen, die auch ohne Wartung

noch lange tadellos gelaufen wären. Aber was soll man machen?

Mercedes-Benz setzt auf Condition Data Based Services von TRUMPF, um 200 seiner Laserzellen in Echtzeit von schlaun Algorithmen und noch schlauneren Serviceexperten zentral überwachen und analysieren zu lassen. Verhält sich eine Anlage auffällig, erhalten die Techniker von Mercedes-Benz sofort Bescheid. Zusätzlich bekommen sie eine klare Handlungsempfehlung. Das spart dem Weltkonzern hohe Kosten, weil der Servicetechniker nur noch kommt, wenn es auch wirklich sein muss. Und noch ein Kostenfaktor entfällt: Da die cloudbasier-

**Statt auf ein festes
Wartungsintervall für seine
Laseranlagen setzt
Mercedes-Benz auf dynamische
Wartung – nur dann, wenn
es nötig ist.**

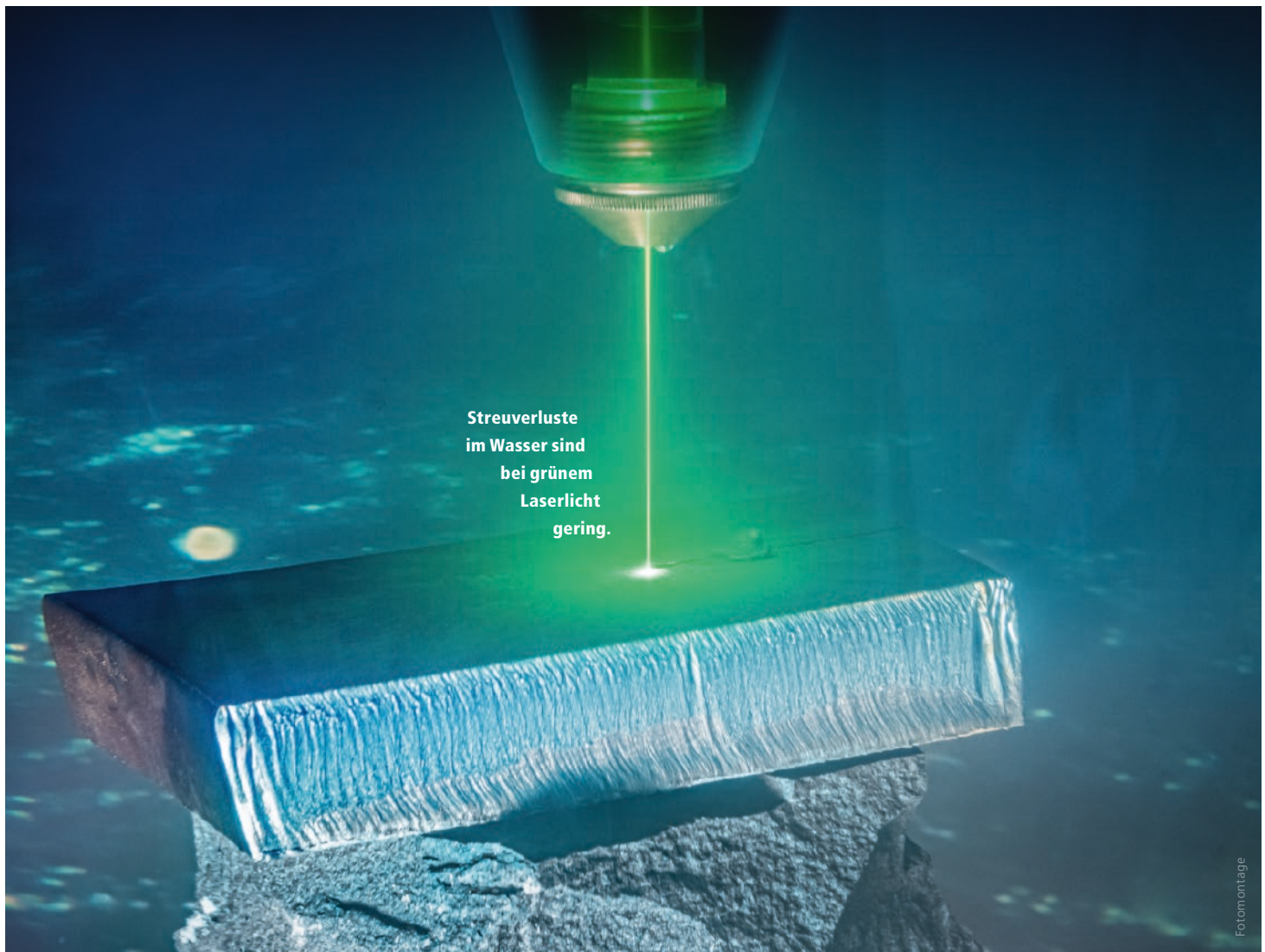
te Zustandsüberwachung direkt in das digitale Ökosystem des Autobauers eingebunden ist, funktionieren Stammdatenpflege, Dokumentation und Datenaustausch jetzt automatisch. Vorher mussten die Techniker die Daten manuell zusammenführen. Jörg Burzer ist Mitglied des Vorstands der Mercedes-Benz Group und zuständig für Produktion, Qualität und Supply

Chain Management. Er sagt: „Die Zukunft der Automobilproduktion liegt in vorausschauenden, digitalen Prozessen, dynamischer Wartung und maximaler Ausfallabsicherung.“

Mercedes-Benz gewinnt nicht nur Sicherheit, sondern entdeckt auch Optimierungspotenziale. Denn die Zustandsüberwachung erkennt und protokolliert auch kleinere Unebenheiten im Prozess wie etwa eine ungeeignete Ansteuerung eines Lasers. Die Ergebnisse nutzen die Prozessentwickler dann, um werksübergreifende Anpassungen vorzunehmen und die Abläufe stetig noch ein bisschen besser zu machen. ■

Der Laser geht auf Tauchstation

Dem Laserlicht geht unter Wasser normalerweise schnell die Power aus. Doch Wissenschaftler haben sich nun überlegt, wie auch unter Wasser die volle Laserleistung ans Bauteil kommt. Das Herzstück ihrer Entwicklung ist ein grüner Laser.

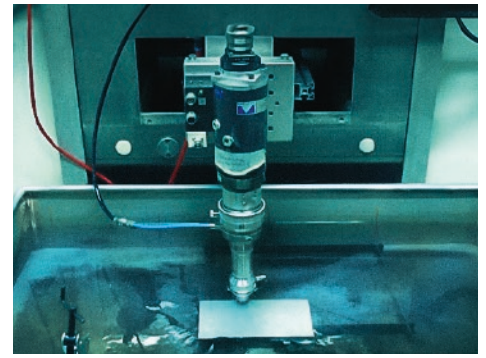


Streuverluste
im Wasser sind
bei grünem
Laserlicht
gering.

Fotomontage

Fraunhofer IWS

Die Anlage spritzt die submarine Schmelze einfach per Wasserstrahl weg.



Warum sollte eigentlich jemand unter Wasser lasern wollen? Nun, es gibt dort einiges zu schneiden und zu schweißen: etwa an Windkraftträgern, Hafenbecken, Wasserkraftwerken, Schleusen und Schiffen. Alte Ölfördertürme gehören abgebaut, Brennstäbe in den Kühlbecken stillgelegter Kernkraftwerke demontiert. Experten sagen, dass der massive Ausbau von Offshore-Windparks helfen kann, den wachsenden Energiehunger der Menschheit umweltfreundlich zu stillen. Der Markt und die potenziellen Aufgaben für Laseranwendungen unter Wasser sind also riesig. Es gibt zwar bereits unterwassertaugliche Verfahren wie etwa das Lichtbogenhandschweißen. Aber wenn der Laser an Land eigentlich immer die bessere Wahl ist fürs Schneiden und Schweißen – warum dann nicht auch unter Wasser? Und: Wenn der Laser doch immer schon am besten für Roboterlösungen geeignet ist – warum dann nicht auch bei Tauchrobotern? Das dachten sich die Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS) in Dresden und sahen sich die Sache mit dem Unterwasser-Laser einmal genauer an.

GRÜN SCHLÄGT BLAU Das Problem: Wasser absorbiert Licht und streut es in alle Richtungen. Das ist besonders bei langen Wellenlängen wie Infrarot und bei kurzen Wellenlängen wie ultravioletter Strahlung der Fall. Sie scheiden daher für den Unterwasserreinsatz aus. Laser mit sichtbarem Licht, wie grüne oder blaue, durchdringen selbst Wasser ohne große Streuverluste und lassen sich somit auch in Gewässern einsetzen. Deshalb sind grüne und blaue Laser für die Arbeit unter Wasser die vielversprechendsten Kandidaten. Die Kraft des blauen Lasers lässt sich allerdings bisher noch nicht so fein fokussieren wie die des grünen. Ein grüner Laser erreicht derzeit im Fokus eine hundertmal höhere Energie-

dichte als ein blauer. Die Laserpower auf den Punkt zu bringen ist unter Wasser aber besonders wichtig und knifflig, denn die Umgebungsbedingungen, etwa die Bewegung des Wassers, beeinträchtigen die Präzision. Neben der Genauigkeit ist auch die Laserleistung von entscheidender Bedeutung. Nur grüne Laser mit mehr als einem Kilowatt Leistung verfügen über die Power, unter Wasser zu schneiden. Die Wissenschaftler entschieden sich deshalb für den grünen Zwei-Kilowatt-Laser von TRUMPF.

WASSER ALS WERKZEUG Die meisten bisherigen Ansätze für das UnterwasserLaserschneiden orientieren sich stark an den Verfahren in trockener Umgebung: Der Laser schneidet und ein mitlaufender Gasstrahl pustet die Schmelze aus. Wer schon einmal unter Wasser ausgeatmet hat, ahnt, wo der Haken bei der Sache ist: Wenn Luft oder Gas auf Wasser trifft, entsteht eine Wolke aus Bläschen. Die Verwirbelungen beeinträchtigen den Laserstrahl. Er lässt sich nicht mehr gezielt ausrichten und ein Großteil der Laserleistung verpufft nach kurzer Distanz. Dieses Problem haben Patrick Herwig und sein Team vom Fraunhofer IWS pragmatisch gelöst: Wenn das Gas das Hindernis ist – dann lassen wir es halt weg und greifen stattdessen zu dem Medium, das beim Tauchgang ohnehin im Überfluss vorhanden ist: Wasser.

TESTS IN DER BADEWANNE Wie bei der Anwendung in trockener Umgebung erwärmt und schmilzt der Laser das Werkstück lokal. Statt Gas bläst ein starker Wasserstrahl die Schmelze aus. Abgesehen davon, dass das Wasser nicht mit langen Leitungssystemen von der Wasseroberfläche oder aus Tanks zum Werkstück transportiert werden muss, hat das Medium einen weiteren Vorteil gegenüber Gas: Sobald der Wasserstrahl präzise auf die heiße Schmelze trifft, entsteht sofort beim Raus-

pusten Dampf. Da das Volumen von Wasserdampf tausendmal größer ist als das Volumen von flüssigem Wasser, katapultiert der Dampfherd die Schmelze in Sekundenbruchteilen aus der Schnittfuge. Das bisschen Energie, das der kalte Wasserstrahl in den ersten Millisekunden des Auftreffens dem Schneidprozess entzieht – rund 200 Watt –, lässt sich verschmerzen. Die Kunst des Verfahrens besteht darin, die Geschwindigkeit des Wasserstrahls exakt so einzustellen, dass möglichst wenig Energie verloren geht, aber genug zum Austreiben der Schmelze bleibt. Herwig und sein Team haben das buchstäblich in einer Badewanne geübt. Und was im Kleinen funktioniert, ist auch im Großen einsetzbar, sind sie sich sicher.

U-BOOT MIT LASER Der Laser übertrifft die bisher eingesetzten Techniken der Unterwasserdemontage von Stahlteilen wie Sägen oder Sprengen nicht nur in Sachen Umweltverträglichkeit. Er punktet auch bei der Ressourcen- und Energieeffizienz. So verschleifen beispielsweise Sägeblätter, Licht hingegen nicht. Und weil der Laser in den thermischen Verfahren den kleinsten Schnittspalt ermöglicht, benötigt er im Vergleich die geringste Energiemenge pro Meter Schnitt. Außerdem macht sich der Laser ganz klein. In ein paar Jahren – so die Vision der Wissenschaftler – könnte sogar ein Roboter in einem mit Laserschneidkopf ausgerüsteten Mini-U-Boot Stahlteile von bis zu 50 Millimetern Dicke selbstständig zerteilen. Der eigentliche Laser bleibt an Bord eines Schiffes und schickt nur sein Licht per Laserlichtkabel in die Tiefe. Herwig und sein Team erwarten, dass stärkere Laserquellen passend für so einen U-Boot-Einsatz bald zur Verfügung stehen werden. ■

Kontakt: Patrick Herwig, Fraunhofer IWS, Telefon: +49 351 83391-3199, Patrick.Herwig@iws.fraunhofer.de

Ibrahim Yorulmaz von Gedia konnte dank
der Zustandsüberwachung schon einen schweren
Maschinenschaden verhindern.



LÄUFT BEI MIR

Beim Automotive-Zulieferer Gedia arbeiten die Lasieranlagen Tag und Nacht durch. Fiel eine mal ungeplant aus, war der Stress groß. Aber zum Glück passiert das jetzt nicht mehr.

Die meisten kleinen und mittleren Serienfertiger fahren die sogenannte Run-to-Failure-Strategie. Das heißt nichts anderes, als dass die Maschinen laufen, bis sie halt irgendwann mal ausfallen. „Run“ ist schön, „Failure“ ist Stress. So auch bei dem Automotive-Zulieferer Gedia, einem Spezialisten für Leichtbauteile. Jetzt will Ibrahim Yorulmaz, Technologiebetreuer Laser am Firmensitz in Attendorn, das „Failure“ weitgehend streichen, damit mehr „Run“ übrig bleibt. Sechs 3D-Laserschneidanlagen verpassen warmumgeformten Bauteilen für Karosserien und Fahrwerke die letzten Konturen. Yorulmaz sagt: „Eine Störung dieser Lasersysteme wirkt sich auf die komplette Fertigung aus.“ Maschinenausfallzeiten nahe null – das wär’s also.

SIE SEHEN ES KOMMEN Gedia gehört zu den ersten Anwendern, die in die cloudbasierte Zustandsüberwachung (Condition Monitoring) ihrer Lasieranlagen einsteigen. Der digitale Service von TRUMPF kontrolliert und analysiert in Echtzeit den laufenden Maschinenbetrieb. Ein Team von Experten und ein schlauer Algorithmus erkennen und melden Auffälligkeiten im Ablauf, noch bevor an der jeweiligen Laserzelle etwas zu bemerken ist. So können die Techniker bei Gedia – ausgestattet mit Handlungsempfehlungen – die entsprechende Instandhaltung erledigen. Bevor die Laserzelle ausfällt.

Bei Gedia produzieren sie rund um die Uhr in drei Schichten. Je nach Bauteiltoleranz nehmen die Mitarbeiter mal die eine oder andere Anpassung am Schneidprogramm vor. Dabei darf es zu keinem Fehler kommen. Falls doch, ist es doppelt unangenehm, wenn das erst dem Kunden auffällt. Yorulmaz erzählt: „Wir mussten dann erst einmal feststellen, in welcher Schicht eine Änderung stattfand, und danach, welcher Mitarbeiter zu diesem Zeitpunkt gearbeitet hat, um den Grund für die Anpassung herauszufinden: die reinste Detektivarbeit.“ Diese Mühsal ist jetzt passé: In den Produktionsreports sind neben den Echtzeitzuständen alle Details des Produktionsverlaufs aufgeführt. „Ich nutze sie täglich.“

MEHR WISSEN, BESSER PRODUZIEREN Yorulmaz von Gedia sieht in den vielen Daten, die das Condition Monitoring bereitstellt, eine neue Ressource für neue Ansätze: „Wenn mir der Report anzeigt, dass es bei einem bestimmten Bauteil immer wieder Probleme mit Mikrokollisionen gab, ist das für mich ein Zeichen, dass das Programm fehlerhaft ist. Und wir müssen dann auch nicht lange suchen, denn der Report zeigt genau an, in welchem Satz der Programmierung der Fehler seinen Ursprung hat.“ So wurde aus dem Wunsch, von Maschinenausfall verschont zu bleiben, schon nach wenigen Wochen ein Gaspedal für die Produktivität. ■



Sechs Laserschneidzellen für die Warmumformung laufen bei Gedia im 24/7-Betrieb. Dank cloudbasiertem Echtzeit-Monitoring hat heute niemand mehr Angst vor ungeplanten Stillständen.



BLICK AUF DIE WIRTSCHAFT

Singapur baut seit Jahrzehnten verschiedene **hochwertige Industriezweige** auf: Luft- und Raumfahrt, Halbleiter, Chemie und Biomedizin. Besonders die Elektronikindustrie wächst stark.

Advanced Manufacturing: Mehrere Weltkonzerne wie etwa Hyundai entwickeln in Singapur besonders fortschrittliche Fertigungsmethoden hinsichtlich Automatisierung und KI-Einsatz.

Die Arbeitskräfte in Singapur gelten laut Bloomberg-Innovationsindex 2021 weltweit als **Spitze in Sachen Qualifikation, Wettbewerbsfähigkeit und Anpassungsfähigkeit.**

5,7 Mio.

Einwohner



WILLKOMMEN IM LASERLAND SINGAPUR!

nominales
Bruttoinlands-
produkt pro
Kopf

82.808

US-Dollar

Industrieanteil
an der
Wirtschaftsleistung

22 %



LAND UND LASER

Der Stadtstaat ist ein Kraftzentrum additiver Fertigungstechniken wie **3D-Druck**.

In Singapur arbeiten Laser in **durchautomatisierten High-End-Fertigungen** der Luft- und Raumfahrt oder Medizintechnik. Lasertechnologie für die Massenfertigung findet sich eher im angrenzenden Malaysia.

In Singapur setzen gleich drei **Weltklasse-Universitäten sowie Forschungsinstitute** Lasertechnologie wissenschaftlich ein oder entwickeln sie.





WO STECKT DER LASER

Im Traktorkult: Wer daheim einen Zweijährigen hat, weiß, dass „Traktor“ sich früh im Wortschatz festsetzt. Ganz klar: Hersteller von Landmaschinen haben nicht nur Kunden, sondern echte Fans, kleine wie große. Fendt zum Beispiel. Die Traditionsmarke in charakteristischem Grün verkauft an ihre Liebhaber neben Spielzeugtraktoren auch grüne Unterhosen, Vesperboxen und Vogelhäuschen. Fanartikel allein machen aber nicht reich, auch das eigentliche Produkt muss erstklassig sein. Und bei Fendt steigt die Nachfrage stetig. Das Werk für Außenhautteile an Kabine und Haube (alles das, was am Ende so schön grün ist!) stellte darum als erster Kunde überhaupt die neue TruLaser 8000 Coil Edition auf. Die Anlage schneidet direkt von der reinlaufenden Bandstahlrolle. Ein Roboter entlädt und sortiert, hochproduktiv. ■

1 Million

JOULE

„Schuss!“ 192 UV-Hochleistungslaser feuern für eine milliardstel Sekunde mit rund zwei Millionen Joule Energie auf eine regentropfengroße Kapsel gefüllt mit einem Wasserstoffgemisch. Die Laser erhitzen das Kapselinnere auf 100 Millionen Grad Celsius. Das Gemisch schrumpft in der Größenordnung von einem Basketball zu einer Erbse. Die verlorene Masse wird zu Energie: drei Millionen Joule—eine Million mehr als die Laser eintrugen! Es ist die erste menschengemachte Kernfusion mit Energiegewinn. Sie gelang an der National Ignition Facility (NIF) in Kalifornien Ende 2022. Das Experiment konnten die Wissenschaftler seither mehrfach erfolgreich wiederholen. Damit sind sie einen entscheidenden Schritt weiter auf dem Weg zu einer unerschöpflichen Energiequelle.

TRUMPF



LASERCOMMUNITY.39 erscheint im Herbst 2024.

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