

# LASER COMMUNITY.

Über Menschen und Photonen

*Sprung im Handyglas? Bald nie wieder.  
Laser erschaffen unzerbrechliche Displays.*



## LASER COMMUNITY. #34

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

**V.I.S.D.P. UND CHEFREDAKTION** Athanassios Kaliudis

**VERTRIEB** Telefon +49 7156 303-30992, manuel.thomae@trumpf.com, www.trumpf.com/de\_DE/unternehmen/presse/magazine

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

**AUTOREN** Florian Burkhardt, Boris Hänßler, Athanassios Kaliudis, Dr. Max Kahmann, Julia Stolte

**FOTOGRAFIE UND ILLUSTRATION** Tobias Gerber, Daniel Goldhahn, Stefan Hobmaier, Ian McLellan, Propaganda Studio, Gernot Walter

**GESTALTUNG UND PRODUKTION** Die Magaziniker GmbH, Stuttgart, Gernot Walter (AD), Martin Reinhardt **ÜBERSETZUNG** Wieners+Wieners GmbH, Ahrensburg **REPRODUKTION** Reprotechnik Herzog, Stuttgart **HERSTELLUNG** W. Kohlhammer Druckerei GmbH+Co. KG, Stuttgart

Titelseite: Gernot Walter; Illustration Seite 2: Gernot Walter

## EDITORIAL



# Manchmal überraschend, häufig aber auch mit Ansage!

Als ich Ende der 1980er-Jahre an der Uni Siegen Teilchenphysik studierte, tauschten meine Kommilitonen und ich unsere Berechnungen, Formeln und Diagramme noch per Post (!) mit anderen Instituten aus. Einmal habe ich sogar eine Grafik vom Bildschirm abgemalt, weil ich sie schnell meinem Professor vorlegen musste. Bedenken Sie: Damals gab es kein Internet. Und dann kam Tim Berners-Lee. Seine Entwicklung des HTTP-Protokolls legte 1989 die Grundlage für das World Wide Web. Plötzlich konnten wir unsere Messdaten digital übertragen und sogar mit fernen Mitarbeitern „chatten“. Eine Revolution! Nein: Disruption! Und heute? Eine Welt ohne Internet ist doch völlig unvorstellbar; alles ist nur noch einen Klick entfernt – zum Glück! Eine Besonderheit: Diese Disruption wurde den Menschen wirklich geschenkt. Weder Tim Berners-Lee noch sein Arbeitgeber – das CERN – haben eine Gegenleistung verlangt.

Auch Photonik hat eine unglaublich disruptive Kraft in sich. In dieser Ausgabe machen wir das am Beispiel der Glasbearbeitung deutlich. TRUMPF hat ein Laserverfahren entwickelt, das es ermöglicht, Smartphone-Displays so zu bearbeiten, dass sie nicht kaputtgehen, wenn sie zu Boden fallen. Ein Ärgernis, das auch mir schon zweimal passiert ist. Die Idee hinter dem neuen Laserverfahren ist nicht nur extrem vielversprechend, sondern vor allem auch disruptiv. Denn Voraussetzung dafür ist, dass wir den Laserstrahl nicht einfach nur fokussieren, sondern so modifizieren, dass eine Perlenkette von Fokussen entlang der Ausbreitungsrichtung entsteht. Wir ziehen den Fokus also in die Länge. Damit lassen sich auch Spezialgläser elegant „schneiden“.

Der Laser selbst hat bei TRUMPF für eine der größten Disruptionen der Unternehmensgeschichte gesorgt. Er hat die Nibbelmaschinen – lange Zeit unser Steckenpferd – vollständig verdrängt. Das war für viele nicht absehbar und kam durchaus überraschend. Kaum einer konnte sich damals wirklich vorstellen, dass der Laser Bleche schneiden würde: Er hat damit eine bestehende Technologie komplett abgelöst. Disruption in Perfektion.

Häufig kündigt sich Disruption aber auch über mehrere Jahre an, sie ist quasi vor unseren Augen. Wir bemerken sie nur nicht; vielleicht, weil uns die Antennen dafür fehlen. Ich bleibe beim Laser: Nachdem er also doch Bleche schneiden konnte, erschien uns der Gedanke lange Zeit absurd, hierfür nicht Gas-, sondern Festkörperlaser einzusetzen. Obwohl wir die Vorteile des Festkörperlasers kannten, sie praktisch täglich vor Augen hatten, sahen wir sie irgendwie doch nicht. Wir waren zu fixiert auf den Gaslaser. Nun gut, am Ende haben wir es ja dann doch erkannt. Heute dominieren Festkörperlaser die Schneidanwendungen deutlich.

Disruption kann uns manchmal überraschen, häufig kommt sie aber mit Ansage. Seien wir also aufmerksam.

**DR.-ING. CHRISTIAN SCHMITZ**

Chief Executive Officer Laser Technology

Mitglied des Vorstands der TRUMPF SE+Co. KG

christian.schmitz@trumpf.com

Gernot Walter

**Easy!**

Wie bebildern wir die Sensorik-Trends in der Laserei? Die Lösung: ein E-Auto, das leger in den Sonnenuntergang cruist. Und schon schwang Illustrator Timo Müller—lässiger Autoexperte—die Computermaus. Das neue, leichte Lebensgefühl beim Messen auf **Seite 10**.

**Banzai!**

Während des Interviews stand Masahiro Tsukamoto plötzlich auf, ging zum Schrank und zog seinen grünen Heldenmantel über; eine Referenz auf das Manga „Fullmetal Alchemist“. Bevor Sie jetzt den ersten Band bestellen, zur Vorbereitung noch rasch zu **Seite 8**.

**Ahoi!**

Zum Glück hat die Redaktion beste Beziehungen zur Modellbauszene aufzubieten. Ganze Ehemänner sogar. Mario Bauer baute an seinen Winterabenden ein Containerschiff, damit wir eine neue 3D-Druck-Technologie illustrieren können auf **Seite 6**.

Amani-Hussen, Gernot Walter, Timo Müller

# LASER COMMUNITY.

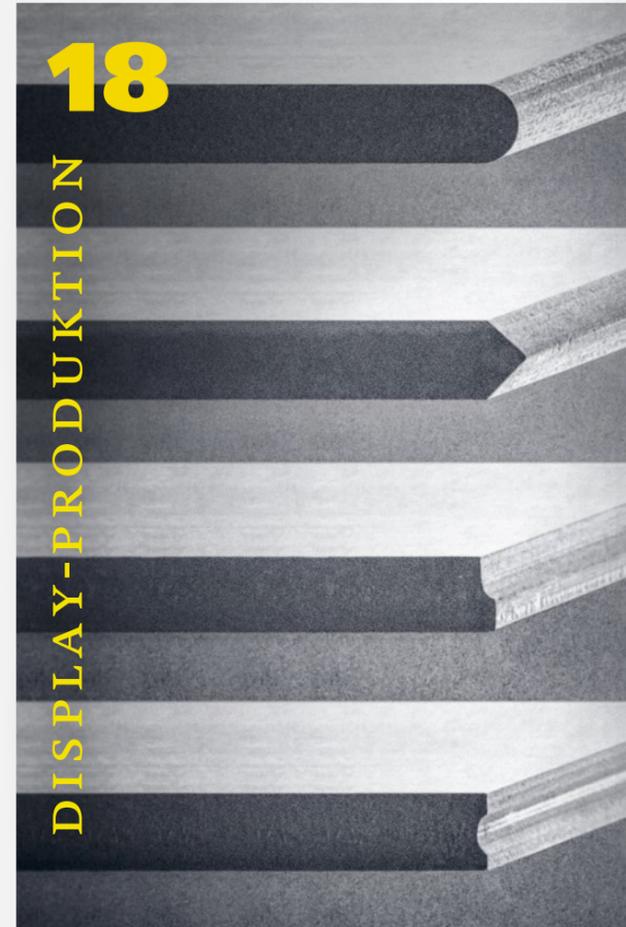
## THEMA

**18 GIB MIR EIN C!**

*Kann nicht endlich mal jemand was gegen Sprünge im Display erfinden? Doch: einen Laserwellen-Schnitt für die Kante. Für die Hersteller bedeutet das weniger Ausschuss, weniger Nacharbeit, mehr Displays.*

**18**

DISPLAY-PRODUKTION

**26** HIGHSPEED-ALUSCHWEISSEN

Stefan Hobmaier, Daniel Goldhahn | Fotografin, TRUMPF

TRUMPF, Tobias Gerber | Fotografin, Jan McLellan | Fotografin, Science Photo Library / Alamy Stock Foto

**6 POWER**

Jetzt wird's heiß: endlich eine 3D-Druck-Lösung für kohlenstoffhaltige Stähle im Werkzeugbau.

**7 GLORY**

Vom Traamtänzer zum Superstar: Heute spottet niemand mehr über die drei Erfinder des Metall-3D-Drucks.

**8 AHEAD**

Grünes Licht für Japans Industrie: Prof. Masahiro Tsukamoto erzählt, warum er inzwischen an den grünen Laser glaubt.

**10 Alles easy**

Sensoren in der Lasermaterialbearbeitung werden immer leistungsfähiger. Jetzt endlich sind sie auch einfacher zu benutzen. Die drei Relax-Trends.

**14 Total vermessene Idee**

Was wäre schöner als ein kontaktloser Industriesensor? Ein richtig günstiger kontaktloser Sensor, sagt Sick.

**10** SENSORIK I**14** SENSORIK II**21 Die Wunderlinse**

Das Spektakel der Wellenoptik beginnt in der diffraktiven Linse. So funktioniert sie.

## **22 „Viele Krankheiten verändern winzige Details an Blutzellen. Im Laserlicht können wir das erkennen“**

Prof. Bahram Javidi baut Schnelltests aus Billig-Hightech.

**26 Boah, seid ihr dicht!**

Auto-Zulieferergigant Benteler entwickelt zuerst eine neue Schweißstrategie für Batteriegehäuse in Edelstahl. Und dann in Alu.

**30 POP**

Sie macht die Fliege

**31 WO STECKT DER LASER?**

Im schnellen Kaffee

**22** SCHNELLTEST

Werkzeuge für  
Spritzgussteile  
lassen sich jetzt  
containerweise  
drucken.



## HEISS UND FERTIG

Mit 500-Grad-Celsius-Vorwärmung und neuem Maschinenkonzept lassen sich jetzt auch kohlenstoffhaltige Legierungen drucken.

Der 3D-Druck boomt weiterhin und verwirklicht in vielen Branchen einen Traum: freie Formen in hoher Qualität auf den ersten Druck, also ohne Annäherungsversuche. Auch der Werkzeug- und Formenbau könnte noch stärker profitieren und zum Beispiel Werkzeuge mit innen liegenden, strömungsoptimierten Kühlkanälen drucken. Könnte – denn die Branche braucht kohlenstoffhaltige Stähle vom Typ H11 und H13. Leider lassen kurze Abkühlzeiten beim 3D-Druck diese Stähle in den Bauteilen stellenweise in bereits gehärtetem Zustand erstarren. Die Eigenspannung erzeugt Risse im gehärteten Stahl.

Zum Glück gibt es eine Möglichkeit, auch kohlenstoffhaltige Stähle zu drucken: einfach die Substratplatte auf 500 Grad Celsius vorheizen. Das Werkzeug würde langsamer abkühlen und es gäbe weniger Eigenspannung. Das ist lange bekannt und trotzdem formulieren wir im Konjunktiv, weil man es in der Praxis (noch?) nicht so macht. Man bleibt eisern bei den etablierten 200 Grad Celsius. Tja, leider aus guten Gründen: Abkühlzeiten von bis zu 20 Stunden pro Bauteil (lange Maschinenstillstandszeit) und Probleme beim Pulverrecycling durch verstärkte Oxidation (hohe Pulverkosten). Wenn es 300 Grad mehr sein sollen, braucht es mehr als einen Temperaturregler.

Es braucht ein neues Maschinenkonzept, das den Vorteil der höheren Temperatur nutzt und gleichzeitig deren Nachteile eliminiert. Ein solches haben die Entwickler bei TRUMPF nun für die TruPrint 5000 vorgelegt.

Die Maschine arbeitet mit auswechselbaren Bauzylindern. Ist das Teil fertig, tauscht man einfach den kompletten Bauzylinder mit innen liegendem Bauteil aus. Das Teil kann abkühlen, solange es will, während die Maschine mit neuem Zylinder schon am nächsten baut. Bleibt noch das Pulverrecycling-Problem: Bevor es losgeht, werden Prozesskammer und Zylinder mit Argon geflutet. Das reduziert Feuchtigkeit und Sauerstoffgehalt auf ein Minimum – das Pulver oxidiert auch bei 500 Grad nicht stärker als bei 200 Grad. Die Recyclingfähigkeit bleibt dieselbe.

Gute Nachrichten also für Freunde kohlenstoffhaltiger Legierungen: Die sanfte, lange Abkühlphase verhindert Spannungsrisse im Stahl. Zugleich bleiben alle Wunscheigenschaften erhalten. Die gedruckten Teile sind genauso fest wie herkömmlich gefertigte und lassen sich genauso gut polieren und härten. Die Bahn ist frei und auch die Werkzeug- und Formenbauer können nun das volle Potenzial des 3D-Drucks ausschöpfen. Und wir den Konjunktiv streichen. ■



Kern für Spritzguss aus H11-Stahl: rissfrei, Dichte 99,9 Prozent, sehr gute Polierbarkeit. Mit integrierten Kühlkanälen ist die Kühlperformance vergleichbar zu Kupferkernen, aber bei viel höherer Standzeit.

## GUT GEALBERT

Vor 25 Jahren wurde der Metall-3D-Druck erfunden.

1996 fragten sich am Aachener Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT drei Männer: „Sollen wir's wirklich machen oder lassen wir's lieber sein?“ Die Antwort: „Ja, wir machen's!“ Obwohl die Fachwelt sie dafür belächelte, ließen sie sich den 3D-Druck für Metall patentieren.

Wilhelm Meiners, Kurt Wissenbach und Andres Gasser brauchten für dessen Entwicklung neben Findigkeit und Zähigkeit noch eine weitere Tugend: das Vertrauen in ihre eigene Idee. Denn ermutigende Worte ernteten sie nicht gerade, wenn sie über ihr Vorhaben sprachen. Meiners, der heute als Experte für Additive Manufacturing bei TRUMPF arbeitet, erinnert sich: „Die damaligen Experten sagten alle, das werde niemals funktionieren. Niemand – außer uns – hat daran geglaubt, dass aus unserer Entwicklung etwas Brauchbares werden kann.“

Schon in der ersten funktionsfähigen Maschine der drei Erfinder war es so, dass eine Rakel – ein Streichwerkzeug – ein Metallpulver schichtweise aufträgt, bevor ein Laserstrahl in berechneten Bahnen übers Pulverbett fährt. Aus dem Grundgedanken, Metallbauteile schichtweise aufzubauen, folgten viele praktische und mentale Updates: Zum Beispiel verschiebt sich die Art,

wie über Fertigungskosten nachgedacht werden muss. Geometrische Komplexität gab es jetzt quasi gratis, die Kosten hingen nur noch am Volumen des Bauteils. Und obwohl es „3D-Druck“ heißt, ist der eigentliche Clou, dass das scheinbar zweidimensionale Verfahren dreidimensionale Fertigung auf zwei Dimensionen reduziert. Für Konstrukteure öffnet sich damit eine neue Welt: Innen liegende Kanäle, integrierte Gitterstrukturen, bionische Formen – Metallbauteile befreien sich von den Fesseln von Guss, Zerspanung und Umformung und dürfen endlich werden, was sie immer hätten sein sollen: rein funktionale Formen.

Die Erfinder zielten mit dem 3D-Druck von Anfang an auf konkret anwendbare Werkstoffe, wie etwa Cobalt-Chrom-Legierungen für Dentalimplantate. Die Medizintechnik war eine der ersten Branchen, die auf 3D-Druck setzten. Andere, wie Luft- und Raumfahrt, folgten rasch und heute drängt die Technologie in alle Ritzen. Geschätztes Umsatzvolumen 2019: zwei Milliarden Euro. Das war 1996 natürlich noch fern: „Wenn wir wirklich was fertig bauen wollten, musste man abends noch mit der Hand den Schieber unterstützen, damit er nicht hängen blieb. Es war schon alles abenteuerlich“, erzählt Meiners. „Aber es hat funktioniert.“ ■

Damals belächelt,  
heute lächeln sie:  
die Erfinder des  
Metall-3D-Drucks  
Wilhelm Meiners,  
Kurt Wissenbach und  
Andres Gasser hinter  
einem Transport-  
wagen des ersten  
3D-Metalldruckers



# „DER GRÜNE LASER HAT GERADE DIE NASE VORN“

Die japanische Industrie braucht Laser für Kupfer. Prof. Masahiro Tsukamoto hatte dafür blaues Licht im Blick, doch jetzt lockt auch das grüne.

## Prof. Tsukamoto, ich habe gehört, Sie hätten Superkräfte.

Mit dem Laser habe ich die ja auch (*lacht*)! Tatsächlich trage ich den Spitznamen „Blue Alchemist“. Das lehnt sich an ein in Japan populäres Superhelden-Manga an namens „Fullmetal Alchemist“.

## Öhm, okay.

Ehrlich! Das Ganze geht zurück auf eine etwas außergewöhnliche Aktion unserer Universität. Unser Direktor wollte die Forschungsarbeit meines Instituts der breiten Bevölkerung näherbringen. Dazu organisierte er für mich einen Vortrag in einer U-Bahn-Station. Ich stand da also an einem kalten Märzabend während der Rushhour auf einer kleinen Bühne am Bahnsteig und erzählte den Passanten von meiner Arbeit. Das sollte möglichst anschaulich sein, also trug ich einen blauen Superheldenmantel und verglich mich mit dem „Fullmetal Alchemist“. Der Name „Blue Alchemist“ blieb dann an mir hängen.

## Jetzt haben Sie sich zu unserem Interview aber einen grünen Mantel angezogen, keinen blauen.

Richtig, der Mantel ist neu. Genau wie der grüne Laser in meinem Labor. Den haben wir, weil wir hier am Institut die Bearbeitung von Buntmetallen wie Kupfer erforschen, also fragen: Wie lassen sie sich am besten fügen, schweißen oder für die additive Fertigung einsetzen? Bisher setzten wir dazu ausschließlich blaue Laserdioden als Strahlquelle ein, die sich sehr gut für Kupfer eignen, deswegen ja auch „Blue Alchemist“. Aber inzwischen denke ich, dass auch der grüne Laser hervorragend geeignet ist für die Verarbeitung von Buntmetallen.

## Warum?

Aus drei Gründen. Erstens: Der blaue Laser befindet sich noch in der Entwicklung. Wir erzielen bereits vielversprechende Ergebnisse damit und sind auf einem guten Weg. Der grüne Laser allerdings ist schon ausgereifter und steht bereit für den industriellen Einsatz. Zweitens sind die Wellenlängen des grünen und des blauen Laserlichts natürlich nicht gleich. Beide eignen sich gut zum Fügen von Buntmetallen wie Kupfer, aber wir werden uns genau anschauen, welchen Einfluss die Wellenlänge tatsächlich hat und wo es Unterschiede gibt. Mit unserem speziellen Röntgensystem machen wir die Vorgänge im Keyhole sichtbar. Und der letzte Grund sind die Endkunden.

## Was sagen die denn?

Das wissen wir noch nicht. Wir werden sie bei Tests einbinden, damit sie ein Gefühl für beide Laserarten bekommen. Wenn sie am Ende sagen: „Wir brauchen einfach ein stabiles System und es ist uns egal, ob grün oder blau“ – ja, dann werden wir uns natürlich die Frage stellen, ob es sinnvoll ist, am blauen Laser weiterzuarbeiten, oder ob wir nicht doch neue Wege mit dem grünen gehen.

## Was ist überhaupt das Ziel Ihrer Arbeit?

Wir wollen die Lasertechnik in Japan voranbringen. Dazu führen wir etwa das Know-how zweier großer japanischer Unternehmen

Blau oder grün?  
Masahiro Tsukamoto  
hat Mäntel in beiden  
Farben.

「AHEAD」

zusammen: eines Herstellers von Laserdioden und eines Systemintegrators. Jetzt gibt es da Kooperationen, die ohne unseren Anstoß wahrscheinlich nicht zustande gekommen wären. Wissen Sie, anders als in Deutschland und den USA gibt es für solche Dinge in Japan keine staatlichen Programme oder Initiativen. Ich bin allerdings der Meinung, dass die Zusammenarbeit von unterschiedlichen Unternehmen und Universitäten sehr wichtig ist.

## Wieso das?

Japan ist ein Hightech-Land. Doch die Welt verändert sich aktuell sehr schnell. Neue Anwendungen, wie etwa die E-Mobilität, erfordern die Verarbeitung neuer Materialien. Wenn die japanischen Unternehmen weiterhin technisch ganz oben mitspielen wollen, brauchen sie clevere Ideen für die Applikationen von morgen. In meiner Arbeit geht es darum, diese Ideen zu finden. Und für mich ist klar, dass blauer oder grüner Laser uns dabei helfen werden.

## Hand aufs Herz: grün oder blau?

Welcher Laser am Ende zum Einsatz kommt, entscheiden nicht wir und auch nicht die Laserhersteller, sondern einzig die Industrieunternehmen. Wir zeigen den Unternehmen, was sie mit den Lasertechnologien alles machen können. Und wenn ich sage „zeigen“, dann meine ich das auch so: Wir fertigen die Teile und gehen damit zu den Firmen. Sie sollen sie anschauen und anfassen. Gerade hat der grüne Laser die Nase vorn. Wir werden sehen, ob der blaue aufholt. Vielleicht ist am Ende auch ein Hybridsystem die beste Lösung. ■

## DAS INSTITUT

Das Joining and Welding Research Institute der Universität Osaka in Japan entwickelt Lasersysteme für die additive Fertigung (LMD) und das Schweißen von Kupfer. Dafür konzentrierte es sich auf blaue Dioden. Aktuell stehen Tests mit einem grünen Laser von TRUMPF an.

## DIE AUFGABE

Prof. Masahiro Tsukamoto und das Institut wollen neue, effiziente Produktionstechnologien in Japans Unternehmen einführen. Sie sehen sich als Partner und Vermittler in der japanischen Unternehmenslandschaft.

## DIE ANWENDUNG

Schwerpunkt der Arbeit von Prof. Tsukamos Team ist die Erforschung von Schweißverfahren, zum Beispiel in Kupfer. Auch mit Kupferbeschichtungen gegen Viren und Bakterien, etwa an Türklinken, beschäftigt sich das Institut.





Time Müller

TRUMPF

Wer über Fertigungsautomatisierung nachdenkt, darf sich über den Boom der Elektromobilität freuen. Denn der treibt die Entwicklung der Prozess-Sensorik in der Lasermaterialbearbeitung voran, und zwar vor allem in eine ganz bestimmte Richtung: in immer ausgefeiltere Sensoren, die sich immer leichter einsetzen lassen. Drei Trends stechen heraus.

# {1}

## Benutzerfreundliche Bedienung

Das Tempo, in dem die Automobilindustrie das Volumengeschäft mit E-Autos skaliert, bedeutet, dass überall auf der Welt nagelneue Anlagen mit Highend-Technologie die Fertigung aufnehmen sollen. Und zwar sehr schnell. Und oft mit frisch eingestelltem Personal, das sich in der Produktion mit einer Vielzahl verschiedener Bediensysteme konfrontiert sieht. Diese Konstellation wirkt sich nun auf Bedienerinterfaces für die Industrie aus. Es geht hier um mehr als bloß darum, lästige Komplikationen abzuschaffen. Denn einfach zu bedienende Komponenten in der Produktion sind ein echter Wettbewerbsvorteil. Mit Einfachheit kann jeder was anfangen, sie ermöglicht viele neue Technologien erst, vermeidet Fehler und erspart Schulungen oder hält sie wenigstens kurz.

Die Nutzerschaft von Industrie-Interfaces ist vielfältig, sowohl von ihren Interessen, ihren Vorkenntnissen, ihren Aufgaben als auch ihrer Ausbildung her: Laboringenieure zählen genauso dazu wie Anlagenbedienerinnen oder Anlagenüberwacher. Jeder von ihnen soll auf seinem Niveau und entsprechend seinem Bedürfnis in der Lage sein, Anlagen sinnvoll zu bedienen. Dass das ein realistisches Ziel ist, sieht man an Smartphones. Und diese Art der Menüführung nimmt sich TRUMPF als großes Vorbild.

### ES GEHT AUCH EINFACH

Selbst der völlig uninformierte Erstnutzer – ein Kind etwa – kommt auf einem Smartphone mit den Basisfunktionen intuitiv zurecht, kann ein Foto aufnehmen oder einen Anruf tätigen. Verheerende Fehler in der Bedienung sind praktisch ausgeschlossen. Bei Komponenten für die Lasermaterialbearbeitung ist das – nun ja – nicht ganz so: Die Menüführung erklärt sich selten selbst, verweist höchstens mal aufs Handbuch. Es fehlen Erinnerungsfunktionen oder Behebbar-Fehler-Meldungen („Willst du wirklich?“). Möchte der Nutzer eine neue Bauteilsituation einrichten, muss er selbst an alle Schritte denken.

Mit dem Smartphone-Vorbild im Kopf gestalteten die TRUMPF Entwickler das Interface für die Positionierungssensorik VisionLine. Will man hier einen neuen Auftrag einrichten, findet man einen vertikalen Schritt-für-Schritt-Basiswizard vor. Er wird unterstützt von einem klaren, Menü für Details. Es ist unmöglich, einen Einrichtungsschritt zu vergessen, und am Ende wird alles automatisch gespeichert mit einem sprechenden Namen. Auch Menschen, die null Ahnung von Bildbearbeitung haben, kommen dank dem VisionLine-Interface schnell und einfach zu ersten Messergebnissen.



### DIE ZUGÄNLICHE

- NAME:** VisionLine
- JOB:** kamerabasierte Bildverarbeitung // erkennt Lage von Bauteilen // richtet Schweiß- oder Markierlaser entsprechend aus
- ZUKUNFTSWEISENDES TALENT:** (wirklich) intuitive Benutzerführung

# »E« WIE EASY

**ODER: WIE DER E-AUTO-BOOM DIE PROZESS-SENSORIK VORAN KATAPULTIERT. FÜR ALLE.**

# Automatisches Sensor-Set-up

Wenn Sie das nächste Mal gefragt werden, warum Sie genau diese Sensor-Parameter nutzen, stellen Sie die Gegenfrage: „Warum schlägt der Pfau ein Rad?“ Wegen der Evolution.

Bisher ist das Aufspüren guter Parameter eine Mischung aus Denken, Erfahrung und schlichtem Ausprobieren. Diese Methode kommt an eine Grenze, sobald es nicht nur um eine Kombi von drei, vier Werten geht, sondern der Nutzer in einem asymmetrischen, vieldimensionalen Parameterraum steht. Und gerade die Produktionsprozesse im E-Mobility-Umfeld verlangen nach Sensoren, die solch komplexe Messaufgaben bewältigen und sich dafür leicht einrichten lassen.

**AUF DER SUCHE NACH DEM A** Zum Beispiel bei der Bild-Einstellung des OCT-Sensors etwa für das sogenannte Hairpinschweißen am Stator oder für Steuergeräte. Es gibt bei OCT-Sensoren gleich mehrere Möglichkeiten, wie Bildfehler entstehen: Konturen sind unterbrochen, Mehrfachreflexionen stören die Abbildung, Linien verrauschen oder verschwinden einfach im Dunkel, kurz: Die Bildqualität reicht nicht aus, um die Messaufgabe zufriedenstellend lösen zu können. Und damit ist auch die Auswertungssoftware überfordert mit der Aufgabe, die Qualität einer Schweißnaht oder ihre Position richtig zu beurteilen. Wie kriegt man nun ein deutliches Bild der Lage? Ähnlich wie bei

{2}

einer Spiegelreflexkamera für Profis gibt es beim OCT-Sensor manuell einstellbare Bildparameter: Belichtungszeit, Schwellwerte, Frequenzen, Skalierungsfaktoren, Referenzwerte et cetera. Insgesamt 22 Parameter mit teils Hunderten von Abstufungen. Und irgendwo in diesem 22-dimensionalen Raum liegt dieser eine Punkt, wo alle OCT-Parameter ideal eingestellt sind für die vorliegende Bauteilsituation. Nur wo? Spiegelreflexkameras haben für diese Fälle ein grünes A, also eine Automateinstellung, die zuverlässig gute Ergebnisse erzielt.

TRUMPF geht genau diesen Weg und hat das grüne A für den OCT-Sensor geschaffen: mithilfe eines sogenannten evolutionären Algorithmus. Dieser tut im Kleinen das, was die Natur seit Anbeginn des Lebens tut: Sie lässt Individuen gegeneinander antreten, sich paaren, zufällig mutieren und schaut, was passiert. Nach Millionen Jahren kommt zum Beispiel ein Pfau raus. Beim OCT-Algorithmus geht das zum Glück etwas schneller als in der Natur, nämlich in 15 Sekunden.

**KAMPF DER PARAMETER** Ein zufälliger Satz der 22 Bildparameter ist ein Individuum. Mit diesem Parametersatz wird ein Bild aufgenommen, dann überprüft es eine von TRUMPF entwickelte Bewertungsfunktion auf sogenannte Fitness, also: Wie gut „überlebt“ der Parameter in seiner natürlichen

Umgebung? Jetzt tritt der nächste zufällige Satz Parameter an und so weiter. Die fittesten Parametersätze zeugen Kinder und vermischen ihre Werte. Die nächste Generation entsteht. Und das Spiel beginnt von vorne, über viele Generationen hinweg. Würde dies jedoch nur auf diese Weise fortgeführt, entstünden immer extremere und damit störungsanfällige „Lebensformen“: Die Parameterwerte liefern auf lokale Minima zu, hinein in die evolutionäre Sackgasse. Darum lässt sie der Algorithmus innerhalb gewisser Grenzen immer wieder zufällig mutieren. Das belebt das Generationenspiel und bringt frische Kombinationsmöglichkeiten in die neue Runde.

Am Ende entsteht eine Parameter-Kombination, auf die ein Mensch niemals gekommen wäre, teilweise mit Werten auf mehrere Stellen hinterm Komma verfeinert. Der Nutzer des OCT-Sensors merkt nichts vom Aussehen, Paaren und Mutieren der Parameter-Individuen. Für ihn sind es bloß ein Klick auf einen Button und 15 Sekunden Wartezeit, bis die Evolution endet und er automatisch die optimale Kameraeinstellung für die zu bearbeitende Bauteilsituation erhält.

Und diese automatische Einstellung ist tatsächlich optimal. Bei der Spiegelreflex verhilft das grüne A dem Laien zu guten Bildern, während der Profi stets lieber manuell einstellen würde. Beim OCT-Sensor ist es anders: Hier übertrifft der evolutionäre Algorithmus regelmäßig die Experteneinstellung. Per Klick zum Profi.

Sensoren werden komplexer.  
Ihre Bedienung einfacher.



Kamerabild der Bauteilsituation: Draht in Gabel (links). Der OCT-Sensor richtet sich selbst ein und erkennt aus der Draufsicht die Höhenunterschiede.

## DER HILFSBEREITE

**NAME:** Optische-Koheränztomografie(OCT)-Sensor

**JOB:** überwacht und regelt Nähte beim 3D-Scannerschweißen; erkennt von oben schauend Höhenunterschiede bei Fügepartnern, wie etwa beim Hairpinschweißen

## ZUKUNFTSWEISENDES

**TALENT:** richtet seine Kamera selbst ein dank evolutionärer KI

## DIE EIGENSTÄNDIGE

**NAME:** Online-Nahtregelung

**JOB:** detektiert berührungslos den Fügspalt // regelt die Nahtposition beim Laserschweißen, etwa für Hairpins

## ZUKUNFTSWEISENDES

**TALENT:** kann auch mal fünfse gerade sein lassen // weiß, wie sie unnötigen Ausschuss vermeidet



Der Sensor navigiert zwischen Ausschuss-GAU und Nachbearbeitungskollaps

{3}

# Selbsttätige Parameteranpassung

Die E-Auto-Fertigung per Laser steckt in einem Dilemma. Denn hier kommen die Schweißlaser oft erst zum Einsatz, wenn schon fast die ganze Wertschöpfung im Bauteil steckt: in der Batterie etwa oder im Stator. Wenn beim letzten Laserschritt der entscheidende Fehler passiert und Ausschuss produziert, tut's besonders weh. Andererseits nervt es gewaltig, wenn ein pedantischer Sensor ständig meldet: „Mööp, bitte ausschleusen und nacharbeiten“, bloß weil eine der hundert Fügspalten nicht superkorrekt sitzt. Bei den Volumina der E-Auto-Fabriken ist nämlich selbst eine Nachbearbeitungsquote von nur einem Prozent unmöglich zu stemmen. In diesem Dilemma hilft kurzes Durchatmen. Denn in der Fabrik ist es wie im normalen Leben: Perfektionismus kann zur Last werden und manchmal ist „gut genug“ tatsächlich einfach gut genug.

Daraus hat TRUMPF Konsequenzen gezogen. Sensoren wie VisionLine oder Online-Nahtregelungen erkennen bestimmte Bauteileigenschaften, wie etwa Spalte, und passen Systemparameter während des Prozesses an. Das hilft beim Navigieren zwischen den zwei Extremen „Ausschuss-GAU“ und „Nachbearbeitungskollaps“. Der Trend in der Sensorik geht hin zur Active Process Logic (APL). Sie schafft es, aus einer potenziellen Müll-Situation ein solide bearbeitetes Bauteil zu machen.

**GUT GENUG** Die APL funktioniert nach dem Prinzip einer Open Loop Control. Bei einem Bauteil mit zum Beispiel 200 Schweißungen misst der Sensor vor jedem Schweißpunkt die Fügspaltsituation aus. Je nach Messergebnis passt er die Schweißung für diesen einen Punkt der Bauteilsituation an. Entdeckt der Sensor etwa, dass zwei zu verschweißende Kupferstäbe weder in der x- noch in der y-Achse ideal zueinander stehen, befiehlt er dem Lasersystem die richtigen Schritte: Laserenergie anpassen, Geschwindigkeit drosseln, zwei Überfahrten mehr oder eine geometrisch andere Figur fahren und so weiter.

Anwender können für alle üblichen – und natürlich auch für alle bizarren Konstellationen – im Labor austesten, welche Schweißstrategie hier zum Ergebnis „gut genug“ führt. Die Werte liegen dann in einer Tabelle, in die spickt die Sensorsoftware bei jedem einzelnen Messschritt kurz und zieht die richtige Lösung hervor.

Diese vorgelagerte Qualitätssicherung per APL hat sich in der E-Auto-Branche etabliert, sie hat Ausschuss vermieden und den Produktionsausstoß enorm erhöht. Wie auch die anderen beiden Trends (Bedienerfreundlichkeit, Sensor-Set-up) hebt die Technik nun an, auch anderen Branchen zu entspannterem Messen zu verhelfen. ■

**Kontakt:** Martin Stambke, Produktmanagement Optik und Sensorik, Telefon: +49 7422 515-8906, martin.stambke@trumpf.com

# TOTAL VERM ESSENE IDEE

*Geschwindigkeits- und Positionsdaten in der Produktion massenhaft per Lasersensor ermitteln lassen? Klar, das geht. Wird halt verdammt teuer. Heiko Krebs vom Sensorik-Spezialisten Sick wollte das nicht glauben — und behielt recht.*

Heiko Krebs lehnt sich etwas zurück und fragt in die Luft: „Was wäre besser als ein berührungsloser Hightech-Sensor? Na klar: ein günstiger berührungsloser Hightech-Sensor! Aber geht das überhaupt?“ Krebs ist Senior Vice President Product Management bei Sick, einem Sensorik-Spezialisten im süddeutschen Donaueschingen. Sein Berufsleben ist geprägt von kleinen Messrädern, die auf Oberflächen abrollen und Geschwindigkeit oder Maße vorbeihuschender Werkstücke ermitteln. Jeder, der an Sensorik für Industrieanlagen interessiert ist, kann bei Krebs anrufen.

Kunden von Sick kommen aus allen Branchen. Gemein ist ihnen, dass sie Produktions- und Prozessanlagen automatisieren wollen. Dazu brauchen sie laufend zuverlässige, reale Daten aus der Produktion für Anlagensteuerung und Qualitätssicherung: Sind alle Blech-/Styropor-/Verpackungsmaterialien richtig zugeschnitten in Länge und Breite? Wie schnell, in welcher Positionierung und mit welchem Abstand durchlaufen sie die Förderbänder? Hunderttausende — ja Millionen von Rädchen rollen für diesen Zweck. Messrad-Encoder zählen ihre Umdrehungen und

errechnen daraus Geschwindigkeiten und Positionen. Natürlich gibt es längst auch kontaktlose Sensoren, die die Teile mit Laserlicht abtasten und deren Prozessor aus ihren Laufwegen die Informationen berechnet. Aber sie sind technisch aufwendig und daher teuer. Ein noch größeres Hindernis: Sie funktionieren nur mit einer Laserleistung, die der Laserklasse 3 entspricht. Damit werden bauliche Sicherheitsvorkehrungen an der Anlage nötig, dazu speziell geschultes Personal – sprich Aufwand ohne Ende für den Betreiber. Und das, obwohl es eine funktionierende Lösung für die meisten Aufgaben gibt: besagte Messrad-Encoder.

**DAS RÄDCHEN NEU ERFINDEN** Die Messräder funktionieren hervorragend. Und günstig sind sie auch. Krebs hätte es dabei belassen können. Aber wäre es nicht großartig, ganz ohne Berührung zwischen Sensor und Materie zu exakten Messergebnissen zu gelangen? Nur ein Austausch von Photonen und alles wäre geritzt – das heißt, „geritzt“ ja eben gerade nicht.

Krebs drückt sich zurückhaltend aus: „Taktile Messrad-Encoder haben definitiv ihre Berechtigung im Markt. Sie sind zuverlässig und günstig. Aber sie haben leider auch Nachteile.“ Und diese Nachteile sind es, die ihn vor rund zehn Jahren wittern lassen, dass das Thema noch nicht durch ist.

Denn alles hat zwei Seiten und die Kehrseite der Rädchen ist die Berührung, ohne die es nicht geht. Sehr oft ist das kein Problem, bisweilen aber schon. Die Rädchen hinterlassen etwa unerwünschte Rillen in weichen Mate-

## MIT LASERKLASSE 1 IST DIESER LASERSENSOR SO HARMLOS WIE EINE COMPUTERMAUS.

rialien wie Folien. Oder sie kriegen nicht genug Grip, wie etwa auf Styropor oder Dämmstoffen, was zu sogenanntem Schlupf und damit zu Messungenauigkeiten führt. Außerdem führt Berührung zu Verschleiß. Abrieb verändert mit der Zeit die Durchmesser der Messräder und damit die Genauigkeit. Alles Dinge, die ein laserbasierter, berührungsloser Sensor quasi von Natur aus im

Griff hätte. „Sie seien halt zu teuer. Dafür gebe es nicht genug Kundschaft. Hörten wir immer wieder. Damit wollten wir uns nicht abfinden“, erinnert sich Krebs.

**SIEHE: COMPUTERMAUS** Krebs recherchiert, wem er seine Vision vom günstigen Laser-Encoder präsentieren könnte, wer ihm mehr dazu sagen könnte. Und er trifft sich mit Ralph Gudde aus Eindhoven. Gudde, heute Vice President Marketing and Sales, arbeitet zu jener Zeit für die Photonik-Sparte von Philips, die seit 2019 Teil der TRUMPF Gruppe ist und eigenständig firmiert unter TRUMPF Photonic Components. Deren Ingenieure stellen winzige, leicht integrierbare Laser- und Photodioden für Konsumgüter her, zum Beispiel für Smartphones, Bürodrucker oder Computermäuse. Massenware, bei der die Kundschaft Wert auf niedrige Preise legt. Gudde zeigt ihm aus seinem Portfolio kleine VCSEL mit integrierter Photodiode, die bereits als Lösung mit einer Linse und Schaltkreis kommen – und Krebs begreift: Damit wäre das Sicherheitsproblem der Laserklasse 3 gelöst. Schließlich braucht auch niemand eine Sicherheitsschulung, der eine optische Computermaus bewegt.

Würde es auch technisch mit den Laserdioden gehen? Gudde meint, das sei kein Problem, wenn man anders misst, als die Industrie es derzeit hauptsächlich macht. Statt Laufwege zu ermitteln, könne man die Interferenzen der Laserlichtwellen messen. Bei dieser SMI-Messung (self-mixing interference) wirft ein VCSEL einen infraroten Laserstrahl auf die Oberfläche eines



vorbeirauschenden Teils – sei es aus Metall, Kunststoff oder sonst etwas. Ein optischer Resonator fängt die Reflexion des Laserstrahls auf und mischt sie mit dem Licht im Resonator. Eine Photodiode misst die Interferenz und das System errechnet aus dem Frequenzunterschied die Bewegungsgeschwindigkeit. Aus der Modulation der Wellenlänge lässt sich die Richtung

Bei Heiko Krebs melden sich auf einmal Kunden mit neuen, vormals unerfüllbaren Wünschen: heiße Kunststoffe aus dem Extruder messen etwa. Mit dem kontaktlosen Hightech-Sensor (unten) kein Problem mehr.



schließen. Der Sensor erfasst direkt Geschwindigkeit und Richtung sowie indirekt Lage und Ausdehnung des Teils.

Dafür braucht es Licht, aber kaum Leistung. Die harmlose Laserklasse 1 reicht – und funktionieren wird es wohl auch. Krebs fährt zufrieden nach Hause.



**JETZT GEHT AUCH WEICH** Wenig später beginnt die Entwicklungsarbeit. Krebs erzählt: „Zusammen haben wir einen Prozessalgorithmus entwickelt, der die Signalqualität schnell und ultrapräzise auswertet. Selbst bei Geschwindigkeiten von zehn Metern pro Sekunde erreichen wir eine Auflösung von vier Mikrometern und eine Messgenauigkeit von 0,1 Prozent.

Das heißt, eine Länge von einem Meter messen wir auf den Millimeter genau. Und das alles zu einem Preis, der deutlich näher an günstige taktile Lösungen herankommt als alles bisher am Markt verfügbare.“ Das ist schön für Kunden, die ihre Rädchen gerne gegen präzisere Lasersensorik eintauschen möchten. Und auf einmal melden sich bei Krebs auch Kunden, die noch nie präzise Daten gewinnen konnten. Kunststoffhersteller, deren Produkte aus dem Extruder kommend zu weich für Rädchen sind. Oder Kabelhersteller, bei denen die Rädchen schon immer mit Genauigkeitsproblemen zu kämpfen hatten. „Wir erhalten viele Anfragen für Anwendungen, die wir bei der Entwicklung gar nicht im Sinn hatten“, freut sich Krebs. „Diese Kunden können nun Messaufgaben lösen, für die es bislang noch keine geeignete Sensorik gab. Das ist auch deswegen so spannend, weil sich das berührungslose Verfahren sehr einfach per Software an spezielle Bedürfnisse anpassen lässt. Wir erreichen also nicht nur mehr Kunden, sondern können ihnen viel genauer das bieten, was für sie wichtig ist.“ Zufrieden wiegt er den Speetec, einen schokoladentafelgroßen Laser-Encoder, in der Hand. „So günstig und vielfältig einsetzbar.“ ■

**Kontakt:** Sick AG, Heiko Krebs, Senior Vice President Product Management, Telefon +49 771 807-351, heiko.krebs@sick.de

# GIB MIR EIN C!

„Disruption“ – sagt man oft so leicht dahin. Hier haben wir wirklich was Disruptives: das neue holografische Splitting und der perfekte C-Schnitt. Alle bisherigen Glas-Trennverfahren sind auf einen Schlag veraltet. Da jubelt die Displayfertigung, denn für sie heißt das: mehr Screens in kürzerer Zeit, bruchsichere Qualität, weniger Nachbearbeitung und kaum noch Ausschuss.

**AUTOR:  
DR. MAX KAHMANN**

Das Smartphone fällt, das Display knackt. „Mist, schon wieder“, flucht der Besitzer und der Fachmann weiß: Da sammelt sich eben der ganze Aufprallstress im Display-Innenwinkel, entlädt sich ins Volumen des hartspröden Materials und zerreißt es. Heute, im Zeitalter von Gorillaglas und superharten Oberflächen, hängt das „Glück gehabt“ beim Aufprall tatsächlich an dieser feinen Glaskante. Sie hat zwei Winkel. Der eine ist der Winkel  $\alpha$  (Alpha). Das ist der Winkel, den jemand messen würde, der seinen Winkelmesser von außen an die Stelle legt, wo sich Glasoberfläche und Glaskantenfläche treffen. Ihm gegenüber gibt es im Glas den Winkel  $\beta$  (Beta). Das ist der Winkel, den jemand messen würde, der dort seinen Winkelmesser von innen anlegt.  $\alpha$  bestimmt  $\beta$  und  $\beta$  bestimmt, wie stressresistent die Kante ist. Wenn  $\beta$  sehr groß ist, können sich die Kräfte beim Aufschlag schnell auf ein großes Volumen verteilen, ohne Schaden anzurichten. Ist  $\beta$  klein, konzentrieren sie sich in einem kleinen Volumen und zerreißen dort das Glas. Und dann heißt es eben „Mist!“.

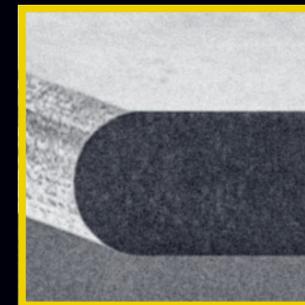
**DAS ELEND DER NACHBEARBEITUNG** Jetzt ist es so, dass die Displayhersteller ohnehin schon eine Menge Aufwand und Nerven in die Bearbeitung von Displayglas nach dem Trennvorgang stecken müssen. Zum Trennen ritzen sie die Gläser an, um sie dann kontrolliert zu brechen. Immer mehr Hersteller setzen hierfür inzwischen auch schnelle Lasertrennverfahren ein. Doch dann beginnt das ganze Elend der Nachbearbeitung. Sie macht rund 90 Prozent (!) der Displayherstellung aus: schleifen, polieren, beschichten, härten, anrauen, verkleben. Die

Displays müssen dafür von Station zu Station transportiert, gewendet, mechanisch bearbeitet und zwischengereinigt werden. Und das Schlimmste ist: Bei jedem dieser Schritte und Handlings gehen Unmengen der haardünnen Gläser zu Bruch.

**DAS DISPLAY-DILEMMA** Diesen enormen Ausschuss kann man als Hersteller jetzt entweder einfach so hinnehmen oder man sieht zu, dass die Displays bruchresistenter werden: für die ganze Nachbearbeitung und natürlich für den Endnutzer, der sich darüber ja auch freut. Das erreicht man, indem man die Displaykante per Schliff abschrägt. Entweder mit einem Schliff zur Bevel-Form (schleifen, polieren) oder noch besser – Winkel  $\alpha$ ! – mit zwei Schlitzen zur Chamfer-Form (schleifen, polieren, wenden, schleifen, polieren). Doch erstens fügt das der scheinbar endlosen Kette der Nachbearbeitung weitere Glieder hinzu. Und zweitens verabschieden sich auch bei dieser Behandlung hin zur bruchresistenteren Kante sehr viele Gläser auf den Display-Friedhof. Eine unbefriedigende Situation.

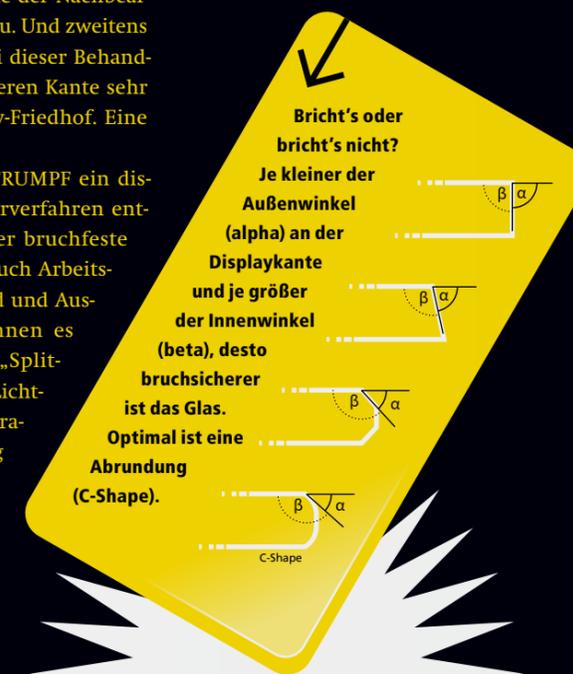
Darum haben wir bei TRUMPF ein disruptives Ultrakurzpuls-Laserverfahren entwickelt, das nicht nur super bruchfeste Displays erzeugt, sondern auch Arbeitsschritte und damit Aufwand und Ausschuss reduziert. Wir nennen es „holografisches Splitting“. „Splitting“, weil wir das Glas mit Licht einwirkung splitten. „Holografisch“, weil wir die Verteilung der Laserintensität im Raum und damit Form und Verlauf des Splits in allen

Perfekte Oberfläche nach dem C-Schnitt, ganz ohne Polieren



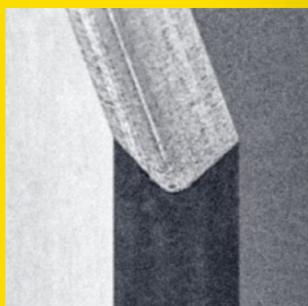
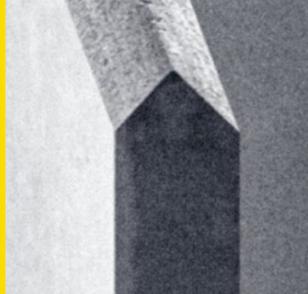
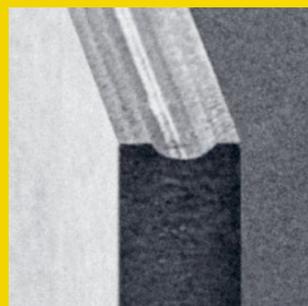
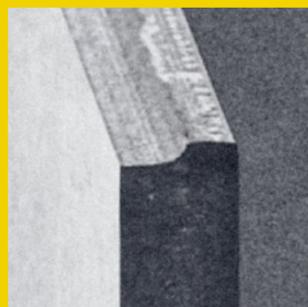
Displayhersteller konnten bisher entweder enormen Ausschuss akzeptieren oder endlos nachbearbeiten.

← Laser-Intensitätsverteilung beim C-Schnitt



Mit der Wellenoptik sind sämtliche Kantenformen in Glas und anderen transparenten Materialien möglich.

Stufenkante für eine klebefreie Steckverbindung bei Displays (unten)



Möglich sind auch Verbindungen durch Nuten und andere passgenaue Formen für Displays oder zum Beispiel auch für Glasfassaden (Mitte und rechts).

drei Dimensionen absolut kontrollieren. Und damit werden endlich perfekt abgerundete Kanten in C-Form in nur einem Arbeitsschritt möglich. Bei der C-Form ist Winkel  $\alpha$  optimal: Bruchfester wird's nicht.

Die Technologie basiert darauf, dass wir – physikalisch korrekter, aber mathematisch hochkomplex – Licht als propagierende Wellen auffassen und nicht vereinfacht als Strahl, wie es in der Lasermaterialbearbeitung lange ausreichte. Die wichtigste Folge dieser Denkweise ist, dass wir den Fokus nicht als Fleck, sondern als modifizierbare Intensitätszone erkennen. Mit den richtigen Berechnungsmethoden und den passenden technischen Mitteln (siehe Seite gegenüber), ist es möglich, den Fokus frei im dreidimensionalen Raum zu verteilen: Wir können ihn dehnen, stauchen, wölben, biegen oder in beliebig viele Einzelzonen auftrennen. Beim Glastrennen ziehen wir die Fokuszone so lange, dass sie der Dicke des zu trennenden Glases entspricht. Dieses Verfahren war bislang State of the Art. Jetzt haben wir ihm ein Update verpasst: Die Fokuszone ist nicht mehr gerade, sondern zu einem C gekrümmt. Die Optik fährt über das Glaswerkstück, das Laserlicht dringt von oben in das Displayglas ein – Wenden unnötig – und schwächt das Glas innerlich, der C-Form folgend. In einem anschließenden Ätzbad bricht die Glaskante extrem glatt ab – kein Polieren mehr nötig. Der perfekte C-Schnitt!

**IT'S GETTING BETTER, MAN!** Displayhersteller, die das holografische Splitting einsetzen, produzieren mehr Displays in kürzerer Zeit. Sie sparen sich aufwendige, reinigungsintensive Produktionsschritte und erhalten ein qualitativ besseres Ergebnis als bei bisherigen Verfahren. Die Bruchsicherheit ist nicht nur ein willkommenes, werbewirksames Feature für den Endkunden, sondern ist auch für den Hersteller nützlich: Jedes Displayglas hat ab Geburt die schützende C-Form in der Kante. Während aller weiteren Handlings- und Produktionsschritte bleibt das Displayglas robust und heile. Das reduziert den Ausschuss immens. Außerdem können Greifer und Handling-Anlagen es von Anfang an beherrzter anfassen, was die Komplexität der Fertigungsanlagen reduziert.

Und es kommt noch besser: Es geht ja nicht bloß um die C-Form. Prinzipiell sind alle Kantenformen in allen transparenten, spröde-harten Materialien möglich. Der Freiheitsgrad ist enorm. Wir arbeiten zum Beispiel zurzeit daran, nutzförmige Geometrien in Gläser einzubringen, sodass Displays nicht mehr geklebt werden müssen, sondern sich einfach stecken lassen. Wieder ein Arbeitsschritt weniger, wieder ein paar Mikrometer Dicke und ein paar Milligramm Gewicht gespart, wieder eine Fehlerquelle weniger und wieder mehr Lebensdauer. Und das ist erst der Anfang von dem, was sich mit Wellenoptiken in Glas anstellen lässt. ■

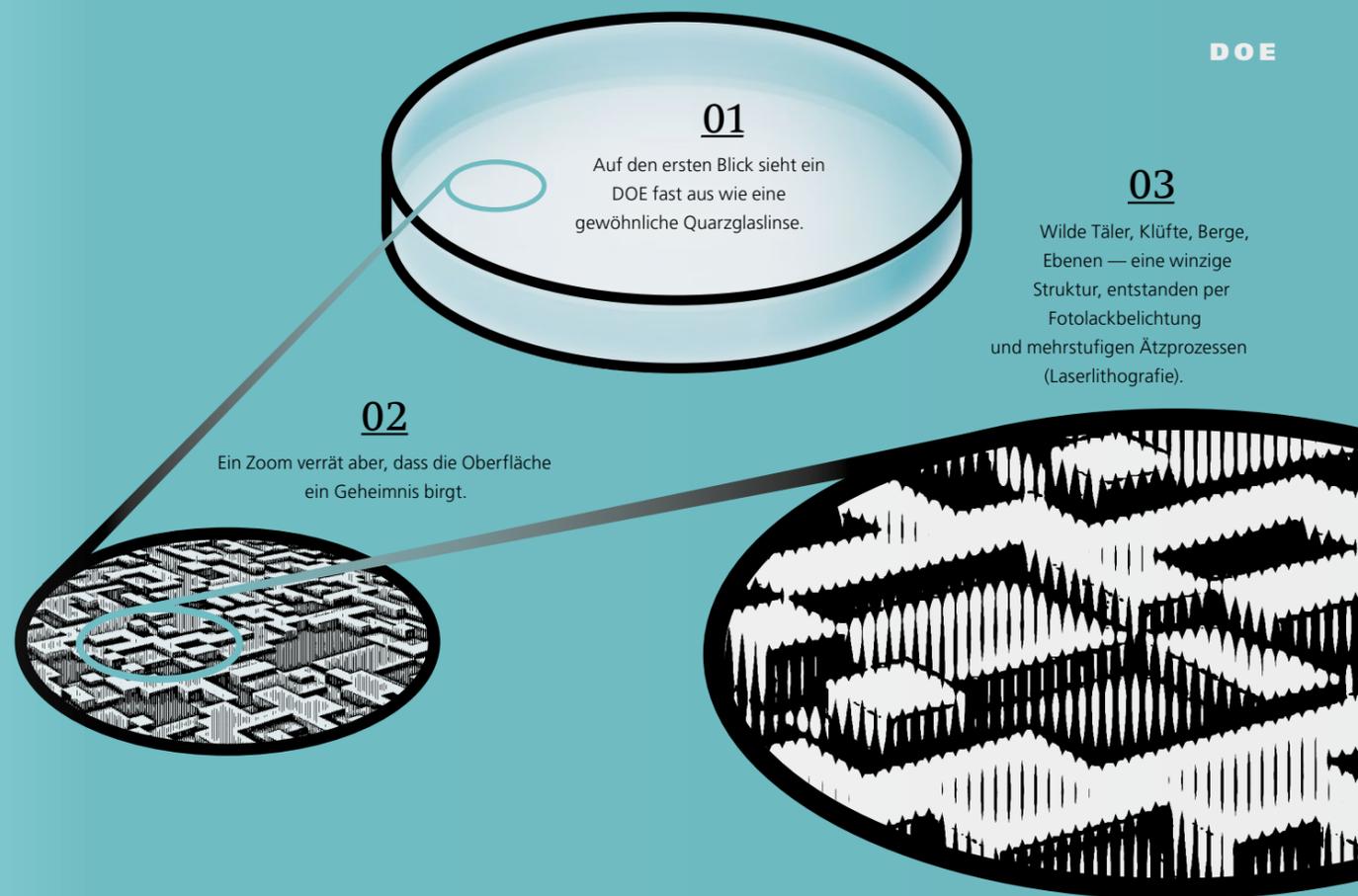


**Dr. Max Kahmann** ist Leiter Vorausentwicklung Laseranwendungen TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH und Spezialist fürs Glastrennen und andere UKP-Anwendungen.



**Kontakt:**  
Telefon: +49 7156 303-35696  
max.kahmann@trumpf.com

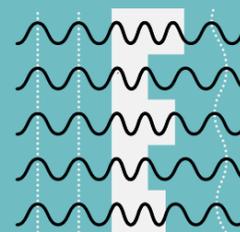
TRUMPF



# Die Wunderlinse

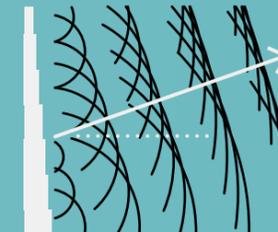
Diffraktive optische Elemente (DOE) stellen die Lasermaterialbearbeitung um auf Wellenoptik. Damit lassen sich Fokusse nach Belieben formen.

## Phasenverschiebung



Die Lichtquellen passieren unterschiedlich lange Strecken in der Linse. Dabei verschieben sich ihre Phasen gegeneinander.

## Interferenz



Nach der Phasenverschiebung interferieren die Lichtwellen miteinander. Es bilden sich vorausberechnete Muster.

## Fokusform



Am Zielpunkt formen die Interferenzmuster eine Intensitätsverteilung, also den Fokus. Er kann frei im Raum verteilt werden und jede beliebige Form annehmen.

Prof. Bahram Javidi schaut sich Blutzellen per Laser an. Dank dieser Technik will er die ganze Welt mit günstigen und einfachen Schnelltests zur Erkennung diverser Krankheiten versorgen. Ein Gespräch über die Möglichkeiten von Billig-Hightech.

„Viele Krankheiten verändern winzige Details an Blutzellen. Im Laserlicht können wir das erkennen.“



P

**Prof. Javidi, wie wird man in Zukunft Krankheiten diagnostizieren?**

Manche jedenfalls per digitaler holografischer Mikroskopie.

**Klingt nach Science-Fiction. Was hat's damit auf sich?**

Die Idee kommt aus der Informationsoptik. Dort geht es darum, Objekte in einer weiten Landschaft zu identifizieren. Licht kann ziemlich viele Informationen über ein Objekt vermitteln. Ich fand, das könnte auch in kleinerem Maßstab gut funktionieren, und wandte es auf die Biomedizin an, zur Diagnostik. Viele Krankheiten verändern winzige Details an Blutzellen, wenn sie in uns wüten. Mit Laserlicht können wir das erkennen und wissen dann, ob der Patient unter einer bestimmten Krankheit leidet.

**Abgefahren. Und wie kommen Sie an die Zellen des Patienten?**

Für den Test reicht ein Tröpfchen Blut. Es kommt auf eine Glasplatte oder etwas Ähnliches, dann durchleuchten wir es mit dem Laser. Den Vorgang nehmen wir mit einer Kamera auf. Unsere Algorithmen erkennen dann, ob eine Infektion vorliegt. Das geht schneller als bei bisherigen Tests.

**Okay, jetzt aber noch mal: „Digitale holografische Mikroskopie“ – wie geht das genau?**

Es ist eigentlich ganz einfach: Das von einer Laserdiode ausgestrahlte Licht beleuchtet die roten Blutkörperchen, die dann durch die Objektivlinse des Mikroskops vergrößert werden.

Die Glasplatte erzeugt Reflexionen von ihrer Vorder- und Rückseite. Die beiden reflektierten Strahlen überlagern sich selbst und bilden ein digitales Hologramm. Und diese Informationen fangen wir auf. Was wir dann haben, sind Weglänge und Index der Fraktion. Eine Software führt numerisch eine Art Umkehrung dieses Beugungsprozesses durch. Das ergibt ein rekonstruiertes räumliches Modell, also ein 3D-Bild der Zelle. Diese Holografien analysiert die Software anschließend auf Krankheitsmerkmale.

**„Blutzellen sind uns sehr ähnlich: Wenn alles in Ordnung ist, haben sie einen charakteristischen Rhythmus; wenn etwas nicht in Ordnung ist, bewegen sie sich langsamer.“**

**Was für Krankheitsmerkmale sind das beispielsweise?**

Wir mussten zunächst herausfinden, welche Merkmale einer Zelle sich überhaupt verändern können. Es gibt mannigfache, die infrage kämen, vom Volumen der Zelle über die Oberfläche der Zelle bis hin zum Verhältnis von Rundung und Länge. Mittels maschineller Lernverfahren konnten wir aber noch viel mehr Merkmale extrahieren. Einige von ihnen sind sehr mathematisch, andere wirken nicht gerade intuitiv, bestehen aber den Praxistest.



Einfach einen Blutstropfen auf eine Glasplatte geben.



Der Apparat untersucht die Probe auf Krankheitsmerkmale.

Für COVID-19 konnten wir etwa feststellen, dass das Coronavirus das Volumen der roten Blutkörperchen verändert. Wir können das ganz einfach messen. Ich habe dann meinen Sohn, der Medizin studiert, um eine Erklärung gebeten. Er vermutet, dass COVID den Zellen Sauerstoff entzieht und dass dies ein Grund für die Veränderung sein könnte. Es ist auch hilfreich, sich die Zellen dynamisch anzuschauen.

**Dynamisch?**

Ja, wir benutzen und filmen rote Blutkörperchen. Dann findet

man noch mehr Merkmale. Denn Zellen verhalten sich wie kleine Herzen: Sie schlagen, nur eben in Nano-Größenordnungen. Eine kranke Zelle, wie die mit COVID-19 infizierte, kann eine veränderte Steifigkeit aufweisen und sich in den zeitlichen Fluktuationen anders verhalten als gesunde rote Blutkörperchen. Das war eine interessante Entdeckung. Blutzellen sind uns sehr ähnlich: Wenn alles in Ordnung ist, haben sie einen charakteristischen Rhythmus; wenn etwas nicht in Ordnung ist, bewegen sie sich langsamer.

Ian McLellan | Fotogloria

**Welche Krankheiten können Sie denn schon auf diese Weise erkennen?**

Wir haben experimentiert mit COVID-19, Malaria, Diabetes und der Sichelzellenanämie, einer erblichen Blutkrankheit.

**Jetzt haben Sie schon ein paarmal betont, wie einfach das alles sei. Warum ist Ihnen das so wichtig?**

Im Moment optimieren wir die Technologie noch im Labor. Es ist aber klar, dass Schnelltests alltagstauglich sein müssen sowie mobil und günstig. Spätestens als wir unseren Test für Malaria optimierten, war klar, dass unser Ansatz völlig nutzlos wäre, wenn er nur im gut ausgerüsteten Labor funktioniert – von der Krankheit sind ja insbesondere arme Länder mit schlechter medizinischer Versorgung betroffen. Aber selbstverständlich werden auch Industrieländer von den Vorteilen der Tests profitieren, zum Beispiel im Hinblick auf COVID-19.

**Das heißt, man braucht kein Krankenhaus oder eine Arztpraxis?**

In gewissem Sinne, ja. Man stellt das Gerät auf einen Stuhl oder einen einfachen Schreibtisch. Irgendeine Stromquelle braucht es freilich schon, zur Not reicht aber auch ein Laptop- oder Handyakku. Wichtig ist: Die Technik muss so simpel und günstig wie möglich sein.

**Ein holografisches Mikroskop für den Rucksack – das hört sich nicht gerade billig an ...**

Ist es aber. Wir haben bei der Entwicklung viel Mühe darauf verwandt, auf teure und komplexe Komponenten zu verzichten, denn damit käme das Mikroskop für Entwicklungsländer gar nicht erst infrage.

**Wie haben Sie es geschafft, die Komponenten günstig zu halten?**

Wir haben aus der Fertigungstechnik gelernt, wie wir alles kompakter machen können. Wir drucken zum Beispiel das Gehäuse im 3D-Drucker, dann wird es sehr kompakt. Die Linse ist leicht herzustellen, der Laser ist ein Standardgerät und dank der Fortschritte in der Optoelektronik und Optik sind die Preise für die Komponenten der Kamera immens gesunken. Ich erinnere mich an die Zeit vor über zwanzig Jahren. Damals kaufte ich eine sogenannte CCD-Kamera von Kodak. Sie kostete fast dreißigtausend US-Dollar. Es war ein großes, monströses Ding. Jetzt ist die Kamera so günstig wie eine Webcam.

**Welche Potenziale sehen Sie noch in Ihrer Technologie?**

Im Medikamententest sehe ich noch viele Möglichkeiten. Da wir Zellveränderungen mit einer Aufzeichnung beobachten, könnten wir eventuell auch die Wirkung von Medikamenten auf Zellen sehen. Das wäre hilfreich, um sicherzugehen, dass Medikamente nicht zerstörerisch wirken. Wir haben das noch nicht ausprobiert, aber ich denke, das ginge. Und: In der COVID-Pandemie erkennen ja gerade alle die Bedeutung von Viren-Mutationen. Auch bei diesen könnte die holografische Technik helfen.

**Inwiefern?**

Eine Mutation kann bedeuten, dass etablierte, chemische Schnelltests möglicherweise an Zuverlässigkeit und Wirksamkeit verlieren und man rasch neue entwickeln muss, das aber unser Test weiterhin wirkt. Fairerweise muss man sagen, das gegenteilige Szenario ist ebenfalls denkbar. Wenn unsere Zellmessung aber effektiv bleibt, können wir bei einer Mutante einfach ein Software-Update programmieren. Unter Umständen reicht es sogar, sie nur mit neuen Parametern zu trainieren. Länder, die es sich

nicht leisten können, müssen also nicht warten, bis neue Testkits eintreffen. Wir senden ihnen die Parameter per E-Mail. Nach dem Herunterladen geht der Test dann einfach weiter. Dies sind Annahmen, die wir noch genauer untersuchen müssen. ■

**„Bei Virus-Mutationen könnte ein einfaches Software-update für den Test reichen.“**



Bahram Javidi ist Professor an der Fakultät Electrical & Computer Engineering der Universität Connecticut. Für seine bahnbrechenden Arbeiten zu transformativen

Ansätzen in den optischen Bildgebungswissenschaften wurde er mit zahlreichen Preisen und Auszeichnungen geehrt, darunter dem QEOD-Preis der Europäischen Physikalischen Gesellschaft und dem Joseph Fraunhofer Award/Robert M. Burley Prize der Optical Society (OSA).

# BOAH, SEID IHR DICHT !

*E-Mobilität: Metallspezialist Benteler entwickelt eine neue Laserschweißstrategie für Edelstahl — und überträgt sie dann auf Aluminium.*



**Rasend schnell dicht geschweißt: Die Laserschweißnähte in dieser Kühlplatte für Batteriegehäuse lassen selbst Gase weder raus noch rein.**

Die Gehäuse sind der unauffälligste Teil einer E-Auto-Batterie. Aber gar so trivial, wie die Metallkästen aussehen, sind sie nicht. Batteriegehäuse sind funktionsrelevant. Bei einem Crash verhindern sie, dass brennbare und giftige Inhaltstoffe auslaufen; sie schirmen die empfindlichen Elektronikkomponenten im Inneren gegen Feuchtigkeit und Witterungsverhältnisse ab und tragen damit zu einer konstant hohen Leistung bei. Was die Kästen brauchen: gasdichte Nähte. Damit Nähte gasdicht sind, müssen sie frei sein von Poren und Einschlüssen. Ach ja: Eine hohe Geschwindigkeit bei der Herstellung wäre auch noch schön. Und hier kommt Benteler ins Spiel.

**ALU IST LEICHT, ABER TEUER** Christian Buse ist Teamleiter im Bereich Research & Development der Division Automotive bei Benteler. Er und sein Team denken über Metallprozesse für den Zulieferergiganten aus Paderborn nach. Er sagt: „Das Schöne an der gegen-

wärtigen Entwicklung der E-Mobilität ist, dass es immer noch viel Spielraum und Optimierungspotenzial bei Prozessen gibt. Wir können also einiges neu denken.“ Dazu gehört auch die Sache mit den Batteriegehäusen. Dicht gefügt werden sie zum Beispiel per Rührreibschweißen, bei dem ein Werkzeug mit Druck an den Fügepartnern rotierend reibt. Für eine Massenproduktion von Metallgehäusen jedoch ein quälend langsames Verfahren. Man wählt es, weil die Gehäuse traditionell aus berüchtigt widerspenstigen Aluminiumlegierungen gefertigt werden. Klingt logisch, denn Alu ist leicht und leicht ist bei E-Autos immer gut.

Buse: „Wir beobachten aber, dass unsere Kunden inzwischen nach Alternativen zu Alu-Gehäusen Ausschau halten: nach welchen aus Stahl oder in Hybridbauweise. Wir haben uns speziell für den Einsatz von Edelstahl entschieden.“ Argumente dafür gibt es genug: Edelstahl ist per Laser leichter zu verarbeiten, er ist



Entwickler Christian Buse hat bei Benteler die neue Schweißstrategie ausgekocht.

„Jetzt haben wir gleich zwei hervorragende Schweißverfahren für Batteriegehäuse in petto: für Stahl und Aluminium! Egal, was sich durchsetzt – wir sind bereit.“

korrosionsbeständig und hat einen hohen Schmelzpunkt, was bei einem Fahrzeugbrand lebensrettend sein kann. Aber Buse nennt den eigentlichen Grund: „Edelstahl lässt sich grundsätzlich hervorragend per Laser schweißen. Von einem Laserverfahren versprechen wir uns, dass es schnelle und sicher reproduzierbare Ergebnisse liefert und gleichzeitig die hohen Anforderungen ans Dichtschweißen erfüllt.“ Er ahnt damals nicht, wohin ihn die Idee führt.

**EINFACH ZU GUT** Buse wendet sich an TRUMPF. Die beiden Technologieunternehmen verbinden zahlreiche Entwicklungspartnerschaften. Neben einem vollautomatischen Biegeprozess steht vor allem die Beschleunigung des Schweißens auf dem Programm. Für Letzteres empfehlen ihm die TRUMPF Ingenieure die Fokussieroptik BrightLine Weld. Sie teilt den Laserstrahl eines Scheibenlasers in einem Laserlichtkabel zwischen Ring und Kern auf. Das führt dazu, dass selbst bei hohen Schweißgeschwindigkeiten so gut wie keine Materialspritzer fliegen, die nachher für eine stabile Nahtbildung fehlen. Buse: „Das spart uns die Nachbearbeitung. Für uns entscheidend ist aber: Die Nähte sind dicht!“

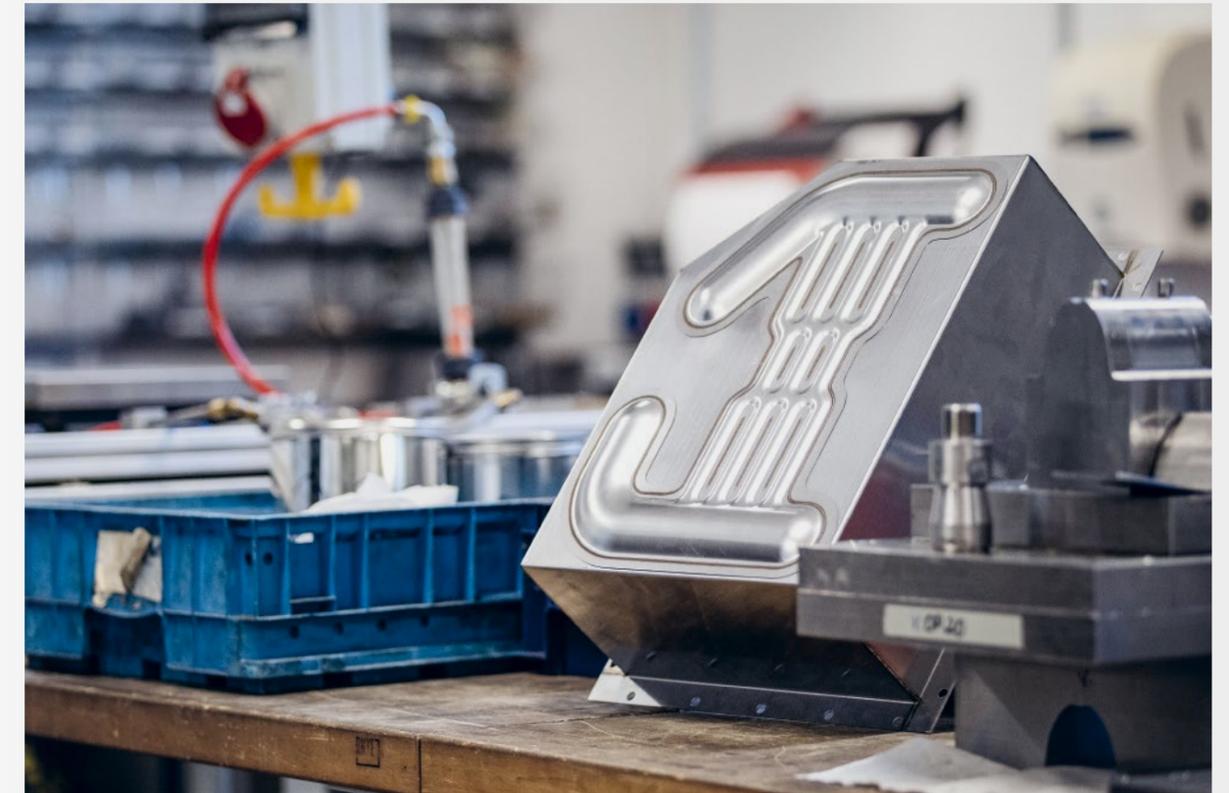
Dass es mit dem Edelstahlschweißprozess nun so glatt läuft, ermutigt Buse und sein Team, es doch noch einmal mit Aluminium aufzunehmen. „Wir hatten das Gefühl, dass sich das neue Batteriekastenkonzept in Edelstahl gut aufs Laserdichtschweißen abbilden lassen könnte. Dabei würden wir den Gewichtsvorteil mitnehmen, außerdem ist Alu im E-Auto-Bau ohnehin populär und hat bei unseren Kunden eine hohe Akzeptanz. Wir waren fest entschlossen, es zumindest zu versuchen.“

**Kontakt:** Benteler Automobiltechnik GmbH, Christian Buse, Team Leader Structural Technologies R&D, Telefon: +49 5254 81-303245, christian.buse@benteler.com

**SPOTS ON ALU!** Wieder wendet sich Buse an TRUMPF. Doch diesmal wird es nicht so leicht. Es zeigt sich, dass es hier für flinke, gasdichte Nähte mehr braucht als die Optik der BrightLine Weld. Das Team hat eine Idee: Wenn sie das Keyhole lange geöffnet hielten, hätten mögliche Verunreinigungen genug Zeit, einfach wegzudampfen. Und der zweite Vorteil wäre: Gleichzeitig würde dies verhindern, dass die Dampfkanäle kollabieren und Poren bilden oder Gas einschließen – das alte Hauptproblem beim Alu-Laserschweißen. Und wie macht man das?

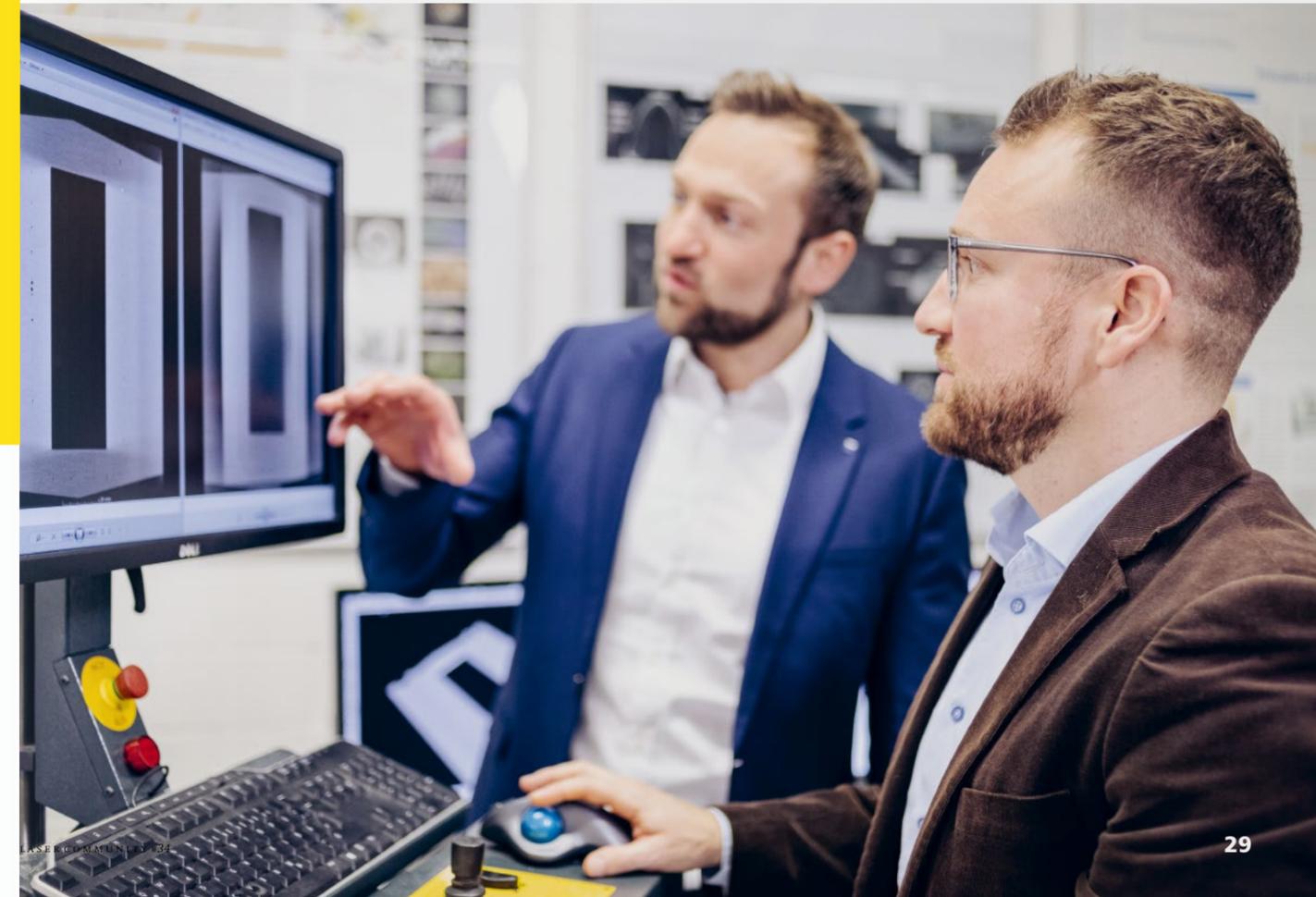
Die TRUMPF Ingenieure bauen eine neuartige Multifokus-Optik, die den Strahl in vier Spots scheidet. Zuerst teilt BrightLine Weld den Strahl in Ring und Kern auf – genau das, was ja beim Edelstahl für die Extrahochgeschwindigkeit gesorgt hat. Danach splittet die Multifokus-Optik diesen Ring-Kern-Strahl zudem in vier einzelne Spots und positioniert sie auf dem Werkstück so zueinander, dass sie gemeinsam in einem Schmelzbad wirken. Das hält das Keyhole offen. Um auch letzte mögliche Verunreinigungen zu erwischen, fährt der Laser mit ein paar anderen Parametern noch mal drüber. Das Ergebnis: porenreine, dichte Nähte ohne Einschlüsse.

Doch Buse und sein Team trauen dem Braten noch nicht und fahren zahlreiche Materialtests. Dann wissen sie es: Das Hochgeschwindigkeits-Laserschweißen für gasdichte Alu-Nähte ist dabei, das Licht der Welt zu erblicken! Buse resümiert: „Jetzt haben wir gleich zwei hervorragende Schweißverfahren für Batteriegehäuse in petto: für Stahl und Aluminium! Egal, was sich durchsetzt – wir sind bereit.“ ■



**Oben:** Der neue Laserschweißansatz für Batteriegehäuse aus Edelstahl hat so gut funktioniert, darum fasst Benteler den Entschluss, ihn auch für das widerspenstige, aber im Markt etablierte Alu zu versuchen.

**Unten:** Das etwas modifizierte Alu-Verfahren hält auch den kritischen Blicken von Buse (rechts) stand.



Stefan Hobmaier, Daniel Goldhahn | Fotogloria

# SIE MACHT DIE FLIEGE

WIE DAS FAST SCHON GEFLÜGELTE WORT DER DISRUPTIVEN TECHNOLOGIEN UNSER LEBEN VERÄNDERT UND WARUM ES MANCHMAL GANZ GUT IST, WENN DER LASER NICHT FÜR ALLES EINE LÖSUNG FINDET.

Januar 2007, San Francisco. Steve Jobs steht auf der Bühne und präsentiert der Welt das erste iPhone. Das moderne Smartphone mit großem Display ist geboren, Handys mit Tastatur sterben. Disruption? Aber ja!

In der Science-Fiction gibt es disruptive Fantasien zuhauf. Eine meiner liebsten: Teleportation. Wie mega wäre es denn, wenn wir uns auf Knopfdruck instantan von Stuttgart nach New York teleportieren könnten, ohne den Raum zu durchqueren? Kein Mensch würde mehr Flugzeuge, Züge oder Autos brauchen! Disruption.

Allerdings ist das mit der Teleportation so eine Sache, wie André Delambre schmerzlich erfahren musste. In der erstmals 1957 im Playboy erschienen und im Anschluss zweimal verfilmten Science-Fiction-Erzählung „Die Fliege“ von George Langelaan versucht sich der Wissenschaftler Delambre daran, Materie zu übertragen. Nach anfänglichen Schwierigkeiten gelingt es ihm schließlich; er wagt den Selbstversuch. Mit fatalen Folgen: Während der Übertragung befindet sich mit ihm zufällig eine Fliege in derselben Kabine – die beiden verschmelzen zu zwei Mischwesen, Mensch mit Fliegenkopf und Fliege mit menschlichen Körperteilen. Beim Versuch, dies rückgängig zu machen, verschmilzt

das Wesen mit Fliegenkopf zudem noch mit einer zuvor im Teleporter verschwundenen Katze. Delambres Frau sieht keinen Ausweg mehr und zerquetscht den entstellten Wissenschaftler unter einem Fallhammer. Auch die zunächst entflohene Fliege wird am Ende zerdrückt zwischen zwei Steinen. Ein Drama.

An dieser Stelle der Kolumne verweise ich häufig auf irgendein Institut, das mithilfe von Lasertechnik an der Lösung ebensolcher Science-Fiction-Szenarien arbeitet. Doch den Traum der Teleportation können wir auch heute nur träumen – er bleibt reine Science-Fiction. Vielleicht ist das nach Delambres Schicksal auch gut so.

Ob Steve Jobs ein Laser-Fan war, ist mir nicht bekannt, ich bin mir aber sicher: Hielte er dieses Heft in Händen, würde er einer werden. Denn was ein Entwickler-Team bei TRUMPF gerade an den Start bringt, klingt erst mal wie Science-Fiction, ist aber Disruption at its best: ein innovatives Verfahren, das Displaygläser unkaputtbar macht (Seite 18). Wahnsinn!

Disruption gibt's übrigens auch im redaktionellen Alltag: Dies ist die letzte Popkolumne in der Laser Community. Sie verabschiedet sich mit Überlichtgeschwindigkeit in eine andere Galaxie und macht Platz für neue Materie! ■



An dieser Stelle schrieb Athanassios Kaliudis, Chefredakteur der Laser Community, regelmäßig über den Laser als Gegenstand der Popkultur. Dies ist seine letzte Kolumne für die Laser Community.

→ Welche Themen wollen Sie in Zukunft auf der letzten Seite lesen? Schreiben Sie uns: [media@trumpf.com](mailto:media@trumpf.com)

Gernot Walter

# WO STECKT DER LASER?

**Im schnellen Kaffee.** TAN-Generator, Zwei-Faktoren-Authentifizierung, Prüfnummer und wie war nochmal das Passwort? All das macht das Bezahlen mit dem Handy zwar sicher. Aber auch etwas unbequem, wenn man bloß mal eben seinen Caffè Latte bezahlen will. Wie viel einfacher ist es doch, die Transaktion mit dem zu bestätigen, was man eh dauernd mit sich herumträgt: dem eigenen Gesicht. Was es dazu allerdings braucht ist ein ganzes Array an Laserdioden, die praktisch unsichtbar unterm Handydisplay sitzen. Sie werfen dem Betrachter dutzende Laserstrahlen ins Antlitz, formen drumherum ein dreidimensionales Gitternetz, erfassen die einzigartige Form und melden die Info ans Handy. Und wie kriegt man jetzt so eine Wundertechnik massentauglich? Ganz einfach: Indem man die Laserdioden direkt auf den Chip setzt und die Linsen und Optiken schon fest ins Halbleitermaterial einbaut – man greife also zu einem sogenannten ViBO (VCSEL with integrated Backside Optics), der besonders sicher für die Augen ist. Strom brauchen die Dinger auch so gut wie keinen. Bleibt schon mehr Geld übrig für den Kaffee. ■

## EIN KILOMETER



hoch ist die atmosphärische Grenzschicht im Mittel. Sie trennt Erdoberfläche und Atmosphäre. Mit zwei „Light Detection and Ranging Instruments“ (LIDAR)-Systemen erforscht die ESA an ihrer antarktischen Forschungsstation Concordia Winde, Aerosole und Wolken in der Grenzschicht. Das Team schießt in der Winterzeit alle fünf Minuten für 60 Sekunden einen gepulsten Laser senkrecht in den Nachthimmel. Das grüne Laserlicht wird von den Partikeln in der Grenzschicht reflektiert, Sensoren erfassen das Streulicht. Die gesammelten Daten geben Aufschluss über das Klima in der Antarktis und den Klimawandel.

**TRUMPF**

**LASERCOMMUNITY.35** erscheint im Herbst 2022.

Jetzt abonnieren und keine Ausgabe mehr verpassen: [trumpf.com/s/lc-abo](https://trumpf.com/s/lc-abo)