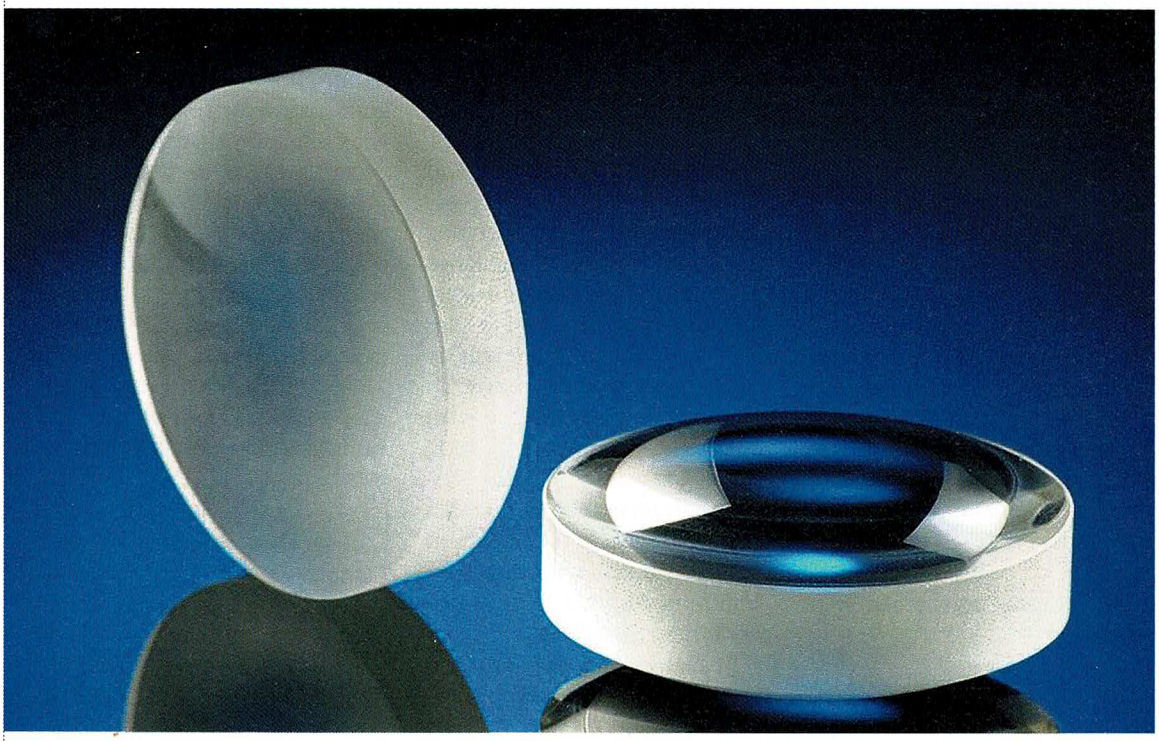
# Laserpolieren pusht die Optik und den Werkzeugbau

**GLATTER ERFOLG** Das Fraunhofer-ILT hat in Aachen die 4th Conference on Laser Polishing pandemiebedingt virtuell abgehalten. Mit insgesamt 70 beteiligten Experten. Hier ein interessanter Überblick dazu, wie und was der Laser alles polieren kann.

*Nikolaus Fecht*



Auch per Laser poliert, ist diese Glaskomponente (links daneben unbearbeitet) aus dem Material BK7, einem Glas, dessen Eigenschaften besonders für optische Anwendungen ausgelegt sind.

Bild: Fraunhofer-ILT

## Auf einen Blick

- Der Laser ist ein echtes Multitalent, wenn es um die Bearbeitung von Werkstücken und Werkstoffen geht. Die meisten kennen ihn als Schneidinstrument oder als Schweißalternative.
- Doch auch für die Oberflächenbearbeitung ist das Laserlicht nicht zu verachten. Und dabei erweist es sich als genauso materialflexibel einsetzbar wie bei den oben genannten Einsatzgebieten.
- Machbar ist auch das Polieren. Das klappt auf Glas so gut wie auf Metallen. Vorbei sind die Zeiten, in denen per Hand oder mit ätzenden Substanzen Komplexes auf Hochglanz gebracht wurde.

Im Jahr 2014 startete das Fraunhofer-ILT die erste „Conference on Laser Polishing – LaP“ zum internationalen Austausch von Forschungsergebnissen. Seitdem hat sich das Event unter Dr. Edgar Willenborg, Leiter des Fraunhofer-ILT-Forschungsteams für laserbasiertes Entgraten und Polieren, zu einem gut besuchten, globalen Laserpolierexperten-Magneten entwickelt. In diesem Jahr wohnten die Teilnehmer aus den USA, Kanada, China, Europa und anderen Teilen der Welt der „4th Conference on Laser Polishing – LaP 2020“, coronabedingt erstmals virtuell der Veranstaltung bei. Im Mittelpunkt derselben stand das laserbasierte Entgraten

Nikolaus Fecht ist freier Journalist aus Gelsenkirchen. Weitere Informationen: Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in 52074 Aachen, Tel. (02 41) 89 06-0, info@ilt.fraunhofer.de, www.ilt.fraunhofer.de

und Polieren, was unter anderem zu einer spannenden Reise zu taumelnden Lasern, High-Speed-Überwachungsmöglichkeiten mit KI-Unterstützung und zur 9-Achs-Simultanbearbeitung führte. Nach Meinung aller habe auch die zwangsläufig virtuelle Veranstaltung bestens geklappt.

Die Vorträge auf der ersten Onlinekonferenz startete Dr. Dr. André Temmler, wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung für Maschinenbau an der Tsinghua-Universität, Peking. Der frühere Fraunhofer-ILT-Projektleiter demonstrierte sowohl High-Speed-Aufnahmen vom Laserumschmelzen in bester Qualität als auch einen neuen, hybriden Laserprozess, mit dem Schmelze strukturiert werden kann.

## Optimierte Lichtbündelung durch Laserumschmelzen

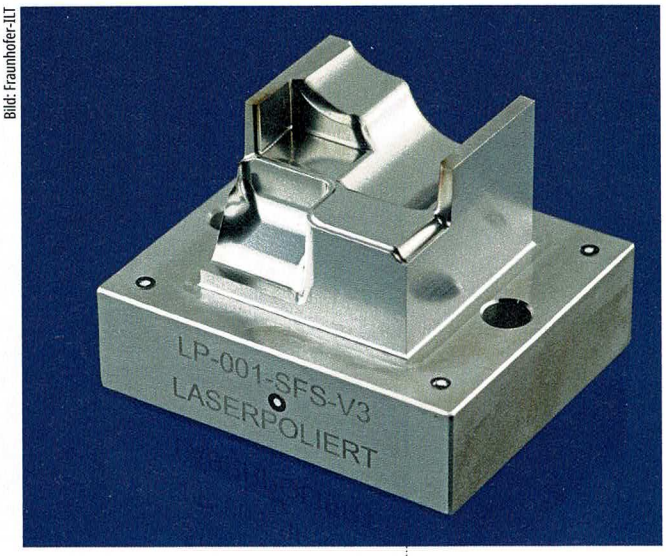
In Letzterem erzeugt ein CW-Laser (Continuous Wave, also ein Dauerstrich-, sprich nicht gepulster Laser, mit Fokus 560 µm) ein Schmelzbad und ein zweiter, aber gepulster Laser (Fokus 17 µm) entfernt und verformt die Schmelzbadoberfläche gezielt mithilfe des Dampfdrucks.

Spannend waren aber auch seine Berichte zu Experimenten mit dem Standardprozess, wobei im Mittelpunkt das Laserpolieren von Werkzeugstahl H11 stand. Unter Laborbedingungen sind nämlich Rauheiten von $Ra$ = 0,05 µm möglich. Den Schlüssel dazu schmiedet die richtige Wahl der Verfahrensparameter und die Art des Schutzgases.

Wie sich kompliziert geformte Oberflächenstrukturen von Werkzeugen für PMMA-Scheinwerfer (Acryl- oder geläufiger Plexiglas) gezielt mit dem Laser maßschneidern lassen, erläuterte Dr. Evgueni V. Bordatchev, Teamleiter am National Research Council of Canada in London (Ontario). Ein deutsch-kanadisches Gemeinschaftsprojekt kümmerte sich ums Modifizieren des Laserumschmelzprozesses als Alternative zum bisherigen Strukturieren mithilfe von Diamantwerkzeugen. Zusammen mit dem Fraunhofer-ILT und der RWTH Aachen University gelang es im Zuge dessen, mit einem 100-W-Laser Werkzeugeinsätze aus dem Werkstoff 1.2343 so zu bearbeiten, dass sich eine ausreichend homogene Lichtverteilung und Auskoppeleffizienz einstellte.

Das Laserpolieren der Oberflächen von Metallen, die mit Diamantwerkzeugen ultrapräzise bearbeitet wurden, behandelte Dr. Hemmo Touvinen von der North Karelia University of Applied Sciences aus Joensuu in Finnland (University of Eastern Finland). Er berichtete über Untersuchungen an chemisch abgeschiedenem Nickel, die ergaben, dass sich vom Diamantwerkzeug verursachte periodische Strukturen vorzugsweise mit Nd:YAG-Lasern (Wellenlänge 1064 nm) bei Pulsdauern von 7 ns beseitigen lassen. Die Oberflächenrauheit erhöhte sich allerdings auf 40 nm.

Bild: Fraunhofer-ILT



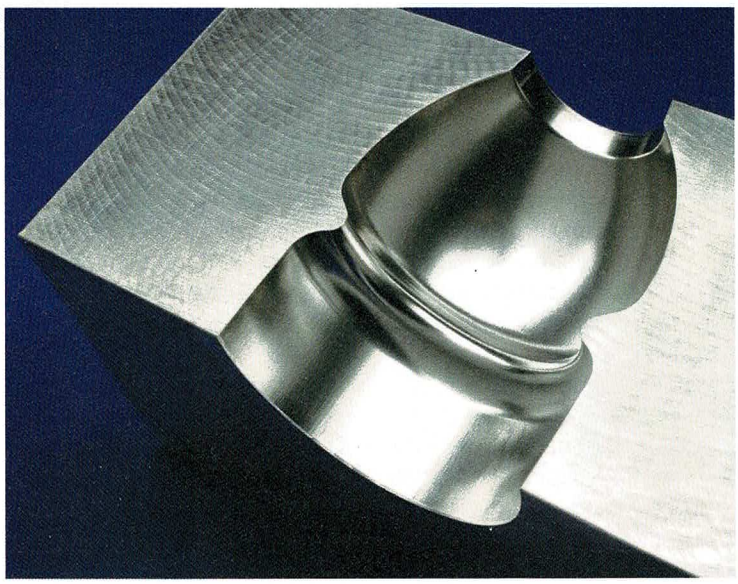

Hier ein per Laser fix polierter Schieber für den Druckguss. Mit Diamantpaste und im Handbetrieb kann das Stunden dauern.

## Glas schneller und gezielter polieren

Einen Hybridprozess, der etwa bei optischen Linsen punkten kann, präsentierte Manuel Jung, ein wissenschaftlicher Mitarbeiter aus Dr. Willenborgs Team am Fraunhofer-ILT. Zusammen mit der Technischen Hochschule Deggendorf analysierten die Aachener im Projekt „HyoptO“, wie sich Kosten und Zeitaufwand bei der Fertigung von Optiken aus Glas optimieren lassen.

Die Prozessschritte sind Vorschleifen, Laserpolieren und abschließendes mechanisches Korrekturpolieren. Das Ganze wurde mithilfe eines $CO_2$-CW-Lasers (Wellenlänge 10.600 nm, Leistung 1 kW) durchgeführt. Das Laserpolieren (Dauer 10 s für eine Linse mit 30 mm Durchmesser) verrin-

Bild: Fraunhofer-ILT



Auch im Werkzeug- und Formenbau spielt das Laserpolieren seine Stärken aus.

Bild: Fraunhofer-ILT

Blick auf eine Anlage, mit der das Laserpolieren diverser Werkstoffoberflächen produktiv gelingt. Hier ein System von Arnold Ravensburg.

gerte dabei den zeitlichen Aufwand für das abschließende mechanische Polieren deutlich. Das Ergebnis kann sich sehen lassen, denn der Hybridprozess senkte die Bearbeitungszeit von Standardlinsen aus Borosilikat-Kronglas (NBK7) bereits um 29 % und von optischem Quarzglas um 63 %.

Eine vorteilhafte Form von Hybridbearbeitung per Laser hat auch das Shenzhen Institute of Information Technology aus China entwickelt. Der Wissenschaftler Dr. Bowei Luo berichtete vom Einsatz eines Dauermagnetfeldes beim Laserpolieren von Werkzeugstahl. Ohne Magnetfeld erreichte der dabei verwendete gütegeschaltete Festkörperlaser mit einer Leistung von 400 W und einem maximal 0,54 mm breiten Laserstrahl eine Rauheit *Ra* von 0,514 µm, der sich bei einer magnetischen Flussdichte von 0,4 T auf 0,168 µm deutlich verbesserte. Versuche ergaben, dass sich der Poliereffekt bereits bei viel schwächeren Magnetfeldern verbessert. Optimal scheint aber eine Flussdichte von 0,4 T zu sein. Höhere Werte führten bislang nicht zu besseren Ergebnissen.

*Glänzende Aussichten für Bauteilhersteller und Laserbranche.*

## Wenn der Laser taumelt, sinkt die Rauheit

Den Laserstrahl ins Taumeln brachten Experten der University of Wisconsin-Madison und des Bremer Instituts für angewandte Strahltechnik BIAS. US-Wissenschaftler Patrick J. Faue stellte im Rahmen dessen das trochoidale Laserpolieren vor, bei dem die Überlagerung von Spiral- und Kreisbewegungen den Strahl quasi taumeln lässt. Ein maximal 30 W starker Faserlaser (Wellenlänge 1.070 nm, Durchmesser Laserfokus 150 µm) poliert dabei Edelstahl der Sorte 316L mit 30 mm/s Vorschub. Das deutsch-amerikanische Team untersuchte dazu, wie drei verschieden taumelnde Strahlen (Bereich 1 bis 15 µm) sich auf das Ergebnis auswirken. Interessanterweise senkten alle drei Taumelarten die Rauheit *Ra* um mehr als 60 %. Es treten dabei allerdings zum Beispiel unerwünschte Effekte in Form von Oberflächenwelligkeiten auf.

Die Zunahme an additiv gefertigten Bauteilen beeinflusste auch die Inhalte der LaP 2020. Prof. Yingchun Guan von der Beihang University in Peking stellte dazu Methoden zum Laserpolieren von metallischen 3D-Druck-Bauteilen vor, die etwa dem Laser Powder Bed Fusion LPBF, einem laserbasierten 3D-Druckverfahren im Pulverbett, entstammten. Positive Erfahrungen machte das Institut unter anderem bei Titan und Nickellegierungen (Inconel 718), deren Rauigkeit *Ra* sich von über 10 µm auf unter 0,1 µm senken ließ. Poliert wurden Turbinenkomponenten (Blades) mit einer hohen Effizienz von 100 bis 400 $cm^2/h$. Dieser Prozess steigerte nachweislich die Härte und die Verschleißfestigkeit um 25 bis 40 %.

Wie sich die Porosität von oberflächennahen Schichten von LPBF-Bauteilen per Laserpolieren reduzieren lässt, untersuchte Lucas-Hermann Beste, Wissenschaftler am BIAS, mit Kollegen der University of Wisconsin-Madison (USA). Ein Versuch mit einer Kobalt-Chrom-Legierung (CoCr), einem Werkstoff, der oft in der Medizintechnik eingesetzt wird, wurde dazu durchgeführt. Unter Argon-Schutzgas polierte ein gütegeschalteter 35-W-Festkörperlaser (1.080 nm) einen kleinen CoCr-Würfel mit einem 120-µm-Laserstrahl bei einem Vorschub von 120 bis 200 mm/s. Die Porosität ließ sich so um 63 % und die Rauheit *Ra* um 75 % auf durchschnittlich 2 µm verringern.

Zu besonders anspruchsvollen Bauteilen zählen Werkzeuge und Formen, denn mit dem Polieren steht und fällt die spätere Qualität und das Aussehen der entsprechenden Produkte. Der Grund sind die anspruchsvollen Geometrien dieser Komponenten, erklärte Laura Kreinest, Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Digital Additive Production DAP der RWTH Aachen University. Der Laserprozess aber kann an die oft sehr ungleichmäßigen Bearbeitungspfade ange-

passt werden. Die Expertin demonstrierte das anhand eines Werkzeugs aus GGG40, mit dem Glasflacons herstellbar sind (siehe Bilder).

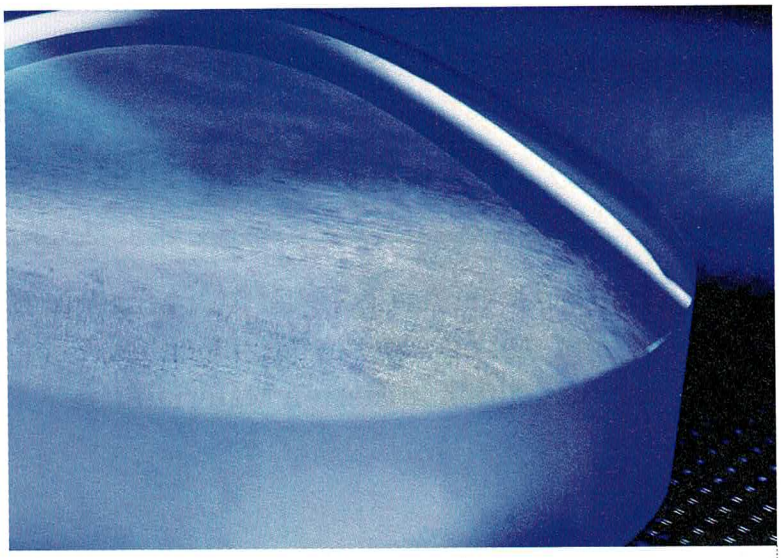
Infrage kamen drei Prozessstrategien: Laserpolieren mit 5+3-, 8- oder 9-Achs-Bearbeitung. Speziell bei komplexen Geometrien ist die 9-Achs-Simultanbearbeitung vorteilhaft, weil mit ihr die CAM-NC-Bahnplanung in Werkstückkoordinaten machbar ist. Bewährt hat sich dabei der Einsatz einer CAM-NC-Datenkette (etwa Powermill, Technology Processor TP4, LasPC), die vom ILT entwickelt wurde. Die Laserpolitur wurde auf einer Maschine von Arnold aus Ravensburg demonstriert (siehe Bilder). Ausgelegt ist das System für bis zu 100 kg schwere Bauteile mit einen Durchmesser von maximal 450 mm.

## KI-Know-how minimiert Datenmenge der Laser

Die Qualität des Laserpolierprozesses lässt sich bei der Vielzahl von beeinflussenden Parametern erhöhen, wenn das Verfahren mit Blick auf die Prozesssicherheit überwacht wird, war außerdem zu erfahren. Und Jack Anthony Beyfuss, Associate Professor und Director of Research University of Western Ontario, London (Kanada) setzt dabei auf thermografische Echtzeitüberwachung und KI-Software. Ein Tachyon MWIR-Kamerasystem zeichnete dazu die Arbeitsweise von polierenden Lasern (5 bis 35 W) mit 3.000 Bildern pro Sekunde (64 × 64 Pixel) auf, um unter anderem mithilfe der Analysesoftware MATLAB die dabei entstehende enorme Datenmenge im Sinne einer effizienten Weiterverarbeitung zu reduzieren. Laut Beyfuss zeigte sich, dass die Analyse der Mustererkennung die Auswahl der am besten geeigneten Informationsmerkmale ermöglicht.

Den Regelkreis schloss er mittels KI-Programm, das nach dem Prinzip des Machine Learnings im Zusammenspiel mit einem Bayes'schen Netz arbeitet, das dabei hilft, die gemeinsame Wahrscheinlichkeitsverteilung aller beteiligten Variablen unter Ausnutzung bekannter sowie bedingter Unabhängigkeiten möglichst kompakt darzustellen. MM

Bild: Fraunhofer-ILT



Den letzten Schliff kann der Laser besonders gut, wie die 4th Conference on Laser Polishing - LaP 2020 vom Fraunhofer-ILT in Aachen bewiesen hat. Hier eine so polierte Asphäre aus Glas.