Fraunhofer

HINTERGRUNDINFORMATION

Tausendsassa Laser

Der Laser – Universalgenie und aus industriellen Prozessen heute kaum wegzudenken. Er hilft dabei, Produkte akkurat und schnell zu vermessen, Fehler aufzuspüren, Oberflächen zu glätten oder gar künstliches Gewebe herzustellen. Auch 3D-Druck wäre ohne Laser undenkbar. Fraunhofer-Forscher arbeiten in vielen Projekten daran, Laserlicht noch besser zu nutzen.

Licht in seiner reinsten Form – so könnte man den Laserstrahl beschreiben. Denn während das Sonnenlicht, das uns täglich Helligkeit spendet, ein Gemisch unendlich vieler Wellenlängen ist, haben alle Lichtstrahlen im Laser die gleiche Wellenlänge. Laserlicht lässt sich daher besonders gut fokussieren, also fast auf einem Punkt bündeln – und ist somit sehr intensiv. Während der Laser anfangs als »Erfindung auf der Suche nach einer Anwendung« verspottet wurde, ist er mittlerweile in Alltag und Produktion fest etabliert. Er macht Herstellungsprozesse effizienter, bearbeitet Werkstücke präzise und optimiert das Recycling. Er schneidet und schweißt, poliert Oberflächen oder erzeugt Mikrostrukturen und lässt loses Pulver zu festen Gegenständen heranwachsen. Kurzum: Es gibt kaum etwas, was der Laser nicht kann.

Fraunhofer-Forscher gaben entscheidende Impulse für die Entwicklung der Lasertechnologie und trugen dazu bei, dass Deutschland im Bereich Laser die Nase vorn hat. Ein Meilenstein auf diesem Weg war die Gründung des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT in Aachen im Jahr 1985. Heute zählt die Lasertechnik in vielen Fraunhofer-Instituten zu den Kernkompetenzen.

Die Entwicklung des Lasers

Die Geschichte der Laser begann mit leistungsstarken CO2-Gaslasern: Sie standen vor allem in den Hallen der Stahl- und Automobilhersteller, wo sie bis heute Bleche präzise und zuverlässig schneiden oder aneinanderschweißen. Bei aller Genauigkeit bringen die Gaslaser allerdings auch Nachteile mit sich: Einer liegt in ihrer Größe, der andere darin, dass sich ihr Strahl nicht durch Glasfaserkabel leiten lässt. Bei einer Wellenlänge von10,6 Mikrometern ist die Absorption zu groß. Vor etwa 20 Jahren machte die Laserentwicklung den nächsten großen Schritt: Festkörperlaser eroberten den Markt der Materialbearbeitung, vor allem die Neodymium-YAG-Laser. Ein Vorteil ist ihre Wellenlänge von 1,06 Mikrometern, die dafür sorgt, dass sich ihr Licht durch Glasfasern leiten lässt. Roboter können die Laserstrahlen somit per Lichtleiter an die gewünschte Stelle lenken. Zusammen mit den CO2-Lasern kommen die Festkörperlaser auch heute noch am häufigsten in der Industrie zum Einsatz: Sie schneiden, bohren, gravieren,

Redaktion
Beate Koch | Fraunhofer-Gesellschaft, München | Kommunikation | Telefon +49 89 1205-1333 | presse@zv.fraunhofer.de

schweißen, reinigen und härten. Zu dieser Laser-Spezies gehört auch der diodengepumpte Festkörperlaser, kurz DPSSL. Forscher des Fraunhofer ILT entwickelten zusammen mit Industriepartnern die leistungsstärksten Laser dieser Art im Multikilowatt-Bereich. Die Energie der DPSSL-Laser stammt nicht mehr aus Blitzlampen wie bei konventionellen Systemen, sondern aus Diodenlasern. Der Wirkungsgrad der Laser erhöhte sich so auf mehr als das Dreifache. Das Licht der Diodenlaser, die diesen Festkörperlaser anregen, lässt sich auch direkt nutzen und durch Glasfasern leiten. Da sie anfangs lediglich einige Milliwatt erreichten, steckten die Diodenlaser zunächst nur in CD-Playern und Laserdruckern. Mit den Hochleistungs-Diodenlasern änderte sich ihr Schattendasein: Mit Leistungen von einigen Watt eroberten sie Anwendungen in der Industrie. Dazu stapelten Forscher die Kleinstlaser kurzerhand neben- und übereinander und überlagerten die einzelnen Strahlen. Professor Peter Loosen, stellvertretender Institutsleiter des ILT, und seinem Team gelang es, die vielen Strahlen so zu konzentrieren, dass sie sich zur Materialbearbeitung unter industriellen Bedingungen eigneten: Sie kombinierten 60 bis 80 Diodenbarren zu einem Laser, der etwa 1,5 Kilowatt erreichte.

Viele Jahre später entdeckten Laserhersteller den Faserlaser als nützliches und effizientes Werkzeug für die Materialbearbeitung: Das aktive Material – etwa Ytterbiumatome – steckt dabei direkt in den Glasfasern und wird von einem Diodenlaser energetisch gepumpt. Das Laserlicht wird also unmittelbar in der Glasfaser erzeugt. Der Wirkungsgrad der Faserlaser kann sich sehen lassen: Er ist dreimal so hoch wie der eines CO2-Lasers. Fraunhofer- Forscher wie Professor Andreas Tünnermann, der das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena leitet, haben einen wesentlichen Beitrag zum Erfolg der Faserlaser geleistet: Er tüftelte aus, wie man das Licht vieler Fasern in einem einzigen Strahl koppeln kann. Dafür erhielt er im Jahr 2005 den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Der Laser als »Zollstock«

Laser sind vielseitig einsetzbar, etwa zum Messen von Gegenständen. Für die Industrie bedeutet das eine erhebliche Erleichterung – müssen doch Produkte nicht mehr aus der Fertigungslinie heraus genommen werden. Der Laser braucht den Gegenstand, etwa eine Nockenwelle, nicht zu berühren. Bei einigen Objekten kann er sogar bis zu fünf Metern entfernt stehen und misst mit Lichtgeschwindigkeit. Dies erlaubt es, bewegte Gegenstände zu vermessen und die Nockenwellen direkt in der Produktionslinie zu überprüfen. Man spricht dabei auch von Inline-Messungen. Für die Industrie ist das sehr relevant, denn durch den höheren Automatisierungsgrad und steigende Anforderungen an die Produktqualität wird die Maßhaltigkeit der Erzeugnisse immer wichtiger – die einzelnen Teile müssen präzise geformt und bearbeitet sein. Mit dem Laser können die Unternehmen ihre Fertigungsprozesse optimieren: So treten Fehler erst gar nicht auf. Waren bislang nur Stichproben möglich, können sie nun alle Bauteile überprüfen – und die Qualität durch die direkte Rückkopplung auf den Prozess noch einmal erhöhen. Ein weiterer Vorteil der Lasermessung: Er vermisst flexibel wechselnde Bau-

teile, was durch die Individualisierung der Produkte zunehmend wichtiger wird. »Die Inline-Prüfung mit dem Laser gibt es schon seit mehr als zehn Jahren, doch die Anforderungen steigen ständig«, erklärt PD Dr. Reinhard Noll, Kompetenzfeldleiter Messtechnik am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen. »Wir haben eine neue Lasersensorik entwickelt, mit der wir die dimensionale Prüfung in der Fertigung zehn Mal genauer machen können.« Doch nicht nur die Messungen physikalischer Größen meistert der Laser mit Bravour: Auch chemische Zusammensetzungen enttarnt er aufs Genaueste. So haben die Forscher um Noll einen Analyseprozess aufgebaut, mit dem sie über tausend Grad Celsius heiße flüssige Schlacke inline analysieren können.

Laser als Spürhund

Nicht nur in der Produktion spürt der Laser Fehler auf, sondern etwa auch in Biogasanlagen. Sie liefern 17 Prozent der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien, fast 8000 Anlagen gibt es derzeit in Deutschland. Die Anforderungen für ihren Betrieb sind hoch: Die Anlagen müssen technisch dicht sein, damit die Energieeffizienz und die Klimabilanz des erzeugten Stroms im Lot bleiben. Daher ist es wichtig, Leckagen aufzuspüren. Forscher der Fraunhofer-Institute für Physikalische Messtechnik IPM und für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT entwickelten gemeinsam ein Verfahren, um solche Leckagen schnell und sicher zu entdecken. Das Prinzip: Die Wissenschaftler richten einen Laserstrahl auf den zu untersuchenden Anlagenteil. Tritt dort Biogas aus, strahlt es einen Teil des Laserlichts wieder zurück. Die Forscher analysieren dieses Licht und ermitteln daraus die relative Gaskonzentration.

Laserlicht statt Schleifpapier

Glatte Oberflächen sind in vielen Bereichen gefragt, besonders wichtig sind sie bei Herzimplantaten. Reicht die Pumpleistung des Herzens nicht mehr aus, unterstützt eine künstliche Pumpe das Organ dabei, Blut durch die Adern zu pressen. Damit die Blutkörperchen nicht beschädigt werden, wenn sie durch das Implantat rauschen, muss die Oberfläche mikroskopisch glatt sein. In Riefen und Rillen könnten sich zudem Bakterien festsetzen. Bislang werden diese Implantate per Hand poliert, und zwar drei Stunden lang. »Mit unserem Laser erzielen wir die gleiche Glattheit in nur fünf Minuten«, fasst Dr. Edgar Willenborg, Gruppenleiter am ILT, zusammen. Vorteile bringt das Laserpolieren vor allem bei komplex geformten dreidimensionalen Bauteilen sowie bei Gegenständen, an denen nur eine kleine Fläche geglättet werden muss. So setzt die Firma Bosch das Verfahren beispielsweise ein, um Schnittkanten zu entgraten und zu polieren. »Während andere Verfahren langsamer werden, je kleiner die zu polierende Fläche ist, erreichen wir mit dem Laser auch auf kleinen Flächen die volle Prozessgeschwindigkeit«, erläutert Willenborg.

Laser als Werkzeug

Der Laser kann ebenfalls als Werkzeug dienen: Etwa um künstliches Gewebe für die Kosmetik-Industrie zu produzieren, an denen die Unternehmen testen können, wie sich die Wirkstoffe auf der Haut verhalten. Bisher konnte man nur einige Zelllagen aufeinander bringen – es haperte an einer künstlichen Gefäßstruktur, um die Zellen mit Nährstoffen zu versorgen. »Wir können nun ein mikroskaliges Gefäßsystem herstellen, das die Nährstoffe in die Zellen bringt«, verrät Dr. Arnold Gillner, Abteilungsleiter am ILT. Dazu lenken die Forscher einen Laserstrahl gezielt auf Monomere in einer Flüssigkeit. Trifft der Laserstahl auf diese Monomere, polymerisieren sie aus – sie bilden also ein Kunststoffnetzwerk. Langfristig wollen die Forscher aus diesem System eine künstliche Haut entwickeln – und auf ganz lange Sicht ist es gar denkbar, auf diese Weise ganze Organe herzustellen.

Als Werkzeug ist der Laser auch im Leichtbau nützlich. Zum Einsatz kommt hier immer öfter faserverstärkter Kunststoff, kurz CFK – lange Fasern aus Glas oder Kohlenstoff, die mit einer Matrix aus Kunststoff umhüllt sind. Um diesen für die Bauteile passend zurechtzuschneiden, greifen die Hersteller oft zur Fräse. Allerdings verschleißen die Werkzeuge bei dem harten CFK schnell und reißen dann einzelne Fasern aus dem Material heraus. »Mit dem Laser können wir das Material mit sehr hoher Qualität schneiden«, sagt Gillner. Sollen die Kunststoffe anschließend mit Metall verbunden werden, punktet der Laser ebenfalls: Mit ihm bearbeiten die Forscher des ILT die Metalloberfläche und bringen mikrometergroße Strukturen ein. Dann schmelzen sie die Matrix der faserverstärkten Kunststoffe am Rand auf und drücken die Bauteile kurz aneinander. Der Kunststoff »hält» sich an den Rillen fest – Metall und Leichtbauteil haften ebenso gut aneinander, als wären sie verklebt worden. »Das Verfahren ist mindestens um einen Faktor fünf bis zehn schneller als das Kleben«, benennt Gillner den Vorteil.

Auch im Flugzeugbau wird der Laser eine erstzunehmende Konkurrenz für den Klebstoff. Zumindest, wenn es um thermoplastische faserverstärkte Kunststoffe geht, denn sie lassen sich durch die Wärme des Lasers aufschmelzen. Diese Kunststoffe können daher miteinander verschweißt werden. Doch auch für faserverstärkte Kunststoffe, deren Matrix aus duroplastischem Kunststoff besteht und sich somit nicht aufschmelzen lässt, haben die Forscher eine Lösung entwickelt. Üblicherweise wird der Matrixanteil durch einen Sandstrahl abgetragen, bevor zwei Bauteile miteinander verklebt werden. Allerdings greift der Sand auch die Fasern an. Forscher des ILT verdampfen die Matrix kurzerhand, indem sie den Laser darauf richten. So werden die Fasern geschont, die Bauteile halten besser aneinander.

Mikrostrukturen in Oberflächen einbrennen

Strukturiert man Oberflächen in der Mikro und Sub-Mikrometerskala, so lassen sich gänzlich neue Funktionen erreichen: Beispielsweise kann man ihre Reibung vermindern, wie es für Motorbauteile sinnvoll ist, oder bei Implantaten dafür sorgen, dass die Körperzellen gut auf ihnen anwachsen. Forscher am Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden haben nun mit DLIP-µFAB eine Anlage entwickelt, die Oberflächen per Laser vollautomatisch strukturiert – und damit sehr viel schneller ist als herkömmliche Verfahren. Zum Vergleich: Braucht man mit der Elektronenstrahllithographie mehrerer Minuten, um einen Quadratzentimeter zu strukturieren, schafft die neue Anlage einen ganzen Quadratmeter in einer Minute. Interessant ist die Strukturierung auch für Bauteilhersteller: Denn 40 Prozent aller Teile am Markt sind Plagiate. Die Hersteller könnten über die Strukturierung beispielsweise ein Hologramm in ihre Bauteile einfügen und so sicherstellen, dass die Kunden das Original sofort erkennen.

Möchte man die Mikrostrukturen in transparente Werkstoffe wie Glas einbringen – etwa für Handy- oder Kamera-Bauteile – ist viel Energie nötig. Zudem ist die Laserbearbeitung im Fall von Glas eine echte Herausforderung: Ist die Energiedichte des Lasers zu gering, erzielt man keinen Effekt, ist sie dagegen sehr hoch, kommt es oft zu unerwünschten Nebeneffekten wie Verschmutzungen durch Abtragungsreste. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik IST haben eine effizientere Lösung gefunden: Sie kombinieren den Laser mit einem Plasmastrahl. Ein Plasma ist ein reaktives Gas, das aus frei beweglichen energiereichen Elektronen, Ionen und Neutralteilchen besteht – in der Natur kommt es in Gewitterblitzen vor. Der Vorteil: Die Laser-Plasma-Hybridtechnologie liefert nicht nur präzise Bearbeitungsergebnisse, sondern ist auch wirtschaftlich attraktiv.

Dreidimensionale Bauteile einfach ausdrucken

Wirtschaftliche Vorteile bringt der Laser auch bei der Herstellung von großen Bauteilen, etwa Turbinenschaufeln. Üblicherweise fräst man die Schaufeln aus einem riesigen Materialblock heraus. Dabei geht jedoch sehr viel des teuren Materials verloren. Der Laser ermöglicht den umgekehrten Weg: Er lässt ein komplettes Bauteil aus feinem Pulver entstehen. Dieses Verfahren nennt sich Selective Laser Melting, kurz SLM. Das Prinzip: Wissenschaftler steuern einen Laserstrahl über ein Pulverbett und zeichnen dort die Form des Bauteils nach. Da, wo der Laser auf das Pulver trifft, schmilzt es zunächst und erstarrt dann zu einer festen Masse. Schicht für Schicht wächst so das Bauteil heran. Dieses dreidimensionale Drucken bietet zahlreiche Vorteile: Es spart Material, Energie und damit Kosten. Zudem ermöglicht es, jede Turbinenschaufel individuell zu fertigen.

Diese Herstellungsweise krempelt auch den Leichtbau um: Bisher mussten die Ingenieure vor allem darauf achten, dass die entworfenen Bauteile sich fertigen lassen. Das Motto lautete: »Design for Manufacture«. »Wir können dieses Paradigma nun

umdrehen und stattdessen ‚Manufacture for Design' anbieten«, sagt Dr. Ingomar Kelbassa, Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT. Das heißt: Die Wissenschaftler können Bauteile produzieren, die sich bisher nicht fertigen ließen – sie können das Teil so entwerfen, dass es seine Funktion optimal erfüllt, ohne darauf zu achten, ob es sich überhaupt herstellen lässt. Dies ermöglicht beispielsweise Bauteile aus Wabenstrukturen, die sich hervorragend für den Leichtbau eignen.

Damit sich auch große Teile über das Selective Laser Melting ausdrucken lassen, entwickeln die Forscher am ILT ein neues Anlagenkonzept. »Statt im SLM-Prozess auf Scannersysteme zu setzen, verwenden wir in unserer Anlage eine Multispot-Bearbeitung – also einen Bearbeitungskopf, aus dem fünf einzelne Laserstrahlen kommen«, erläutert Florian Eibl, Wissenschaftler am ILT. Der Vorteil: Der Schmelzprozess wird dadurch parallelisiert, somit lassen sich selbst große Teile schnell und ohne zusätzlichen Aufwand produzieren.

Auch für Reparaturen eignet sich der Laserstrahl: Ist eine Turbine abgenutzt, können die Forscher am ILT die einzelnen Schaufeln mit Hilfe des Lasers wieder auf ihre ursprünglichen Größe wachsen lassen. Das zugehörige Verfahren nennt sich Laserauftragsschweißen. Dabei wird ein Teilchenstrahl auf die abgenutzte Oberfläche gerichtet, ein Laserstrahl schmilzt Teilchen und Oberfläche auf und verbindet sie miteinander – so wächst die Turbinenschaufel Stück für Stück. Der Wulst, der dabei entsteht, wird in der Nachbearbeitung durch einen Roboter automatisch entfernt, die Oberfläche geglättet.

Die **Fraunhofer-Gesellschaft** ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 67 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. Mehr als 23 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von zwei Milliarden Euro. Davon erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft über 70 Prozent aus Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Die internationale Zusammenarbeit wird durch Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien gefördert.

Weitere Ansprechpartnerin
Petra Nolis | Telefon +49 241 8906-662 | petra.nolis@ilt.fraunhofer.de | Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, Aachen | www.ilt.fraunhofer.de