

## Eröffnung des Zentrums für Diagnostik laserbasierter Fertigungsverfahren in der FGSW

Der globalisierte Wettbewerb erzwingt, bei steigender Produktvielfalt Entwicklungszeiten weiter zu verkürzen und gleichzeitig die Produktionskosten zu senken. Ein wesentlicher Beitrag dazu kann durch Vermeidung von Ausschuss erreicht werden, wofür sichere Verfahren und zuverlässige Überwachungseinrichtungen erforderlich sind. Um dies zu erreichen sind fundierte Kenntnisse über die Ursache sporadisch auftretender Prozessinstabilitäten erforderlich, die jedoch selbst bei vielfach industriell eingesetzten Laserverfahren zum Schneiden, Schweißen und Bohren nicht vorliegen. Dies liegt daran, dass auf experimentellen Weg nur sehr schwierig Auskunft über Prozessstörungen erhalten werden kann, welche meist auf extrem kurzen Zeitskalen und räumlichen Dimensionen im Mikrometerbereich meist unterhalb der Werkstückoberfläche ablaufen. Angesichts der Komplexität und Schwierigkeit der Aufgabe ist eine Kombination unterschiedlicher Analyseverfahren erforderlich, die höchstmögliche zeitliche und räumliche Auflösung bieten.

In der Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge mbH (FGSW) wird ein "Zentrum für Diagnostik laserbasierter Fertigungsverfahren" eingerichtet, das im September 2005 im Rahmen der Stuttgarter Lasertage offiziell eröffnet wird. Zur Ausstattung des Zentrums zählen modernste Diagnose und Messeinrichtungen, welche die oben genannten Anforderungen erfüllen und in dieser Zusammenstellung weltweit einmalig sind. Die finanziellen Mittel zur Beschaffung der Geräte wurden im Rahmen der "Zukunfts-offensive III" des Landes Baden-Württemberg bereitgestellt. Die vielseitige Diagnostikausstattung des Zentrums ermöglicht der FGSW Projekte zur Aufklärung qualitätsmindernder Prozessstörungen durchzuführen sowie die Industrie bei der Lösung akuter Fertigungsprobleme zu unterstützen.

Die Ausstattung des "Zentrums für Diagnostik laserbasierter Fertigungsverfahren" wird folgende Geräte und Messeinrichtungen umfassen:

- Echtzeit-Bildverarbeitungssystem
- Hochgeschwindigkeits-Farbvideo
- Hochgeschwindigkeits-Infrarotkamera
- Hochgeschwindigkeits-Mikrofokus-Röntgenanlage
- Lichtschnittsystem
- Kurzzeitdiagnostik mit ICCD-Kamera

### Strahl-Diagnostik

- Topographie-Messsystem
- Pikosekundenlaser
- Nanosekundenlaser
- Hochgeschwindigkeits-Handlingsystem
- Hochgeschwindigkeits-Spektrometer

In Laser Magazin 2/2005 wurde bereits über die bisher beschafften Geräte berichtet. Nachfolgend wird nun näher auf die weitere Ausstattung eingegangen, die nach vollständigen Ausbau des Diagnostikzentrums Ende 2005 vorhanden sein wird.

### Lichtschnittsystem

Schmelze tritt beim Laserstrahlschweißen sowie vielen weiteren Lasermaterialbearbeitungsverfahren auf. Sie beeinflusst die Erstarrungsgeometrie und damit sowohl die Gebrauchseigenschaften als auch die Qualität der Laserschweißnähte der lasergefertigten Bauteile. Um auf die antreibenden Kräfte (Volumen- oder Oberflächenkräfte) von Schmelzbewegungen rückschließen zu können, muss neben der Schmelzgeschwindigkeit auch die Topographie der flüssigen Oberfläche erfasst werden. Das dazu eingesetzte Verfahren muss geeignet sein, auch in unmittelbarer Nähe eines Plasmas, wie es zum Beispiel beim Laserstrahlschweißen auftritt, arbeiten zu können. Ein Lichtschnittsensor mit einer monochromatischen Lichtquelle, kombiniert mit einer Kamera und einer Auswertesoftware erfüllt diese Aufgabe und ist aus diesem Grund bestens zur Detektion der Schmelzoberfläche geeignet.

### Kurzzeitdiagnostik mit ICCD-Kamera

In der Laserbearbeitung mit Nanosekunden-, Pikosekunden- und Femtosekunden-Laserpulsen laufen wesentliche Prozesse auf sehr kurzen Zeitskalen im Bereich von wenigen Nanosekunden bis einigen Mikrosekunden ab, zum Beispiel Abdampfen und Plasmadynamik sowie Aufschmelzen, Bewegung und Erstarren der Schmelze. Zur Erlangung eines umfassenden Prozessverständnisses des Laserabtragens und -bohrens sind diese Vorgänge möglichst unmittelbar zu visualisieren. Dies erfordert eine Beobachtungstechnik mit extrem hoher Zeitauflösung, die ein „Einfrieren“ der schnellen Prozesse erlaubt, beispielsweise durch die Verwendung von sehr kurz gepulsten Beleuchtungsquellen (Nanosekunden- und sub-ns-Pulsdauern) in Kombination mit Kameraschlusszeiten im Nanosekundenbereich zur Streulichtunterdrückung. Zur Darstellung der Dynamik der Prozesse sind darüber hinaus

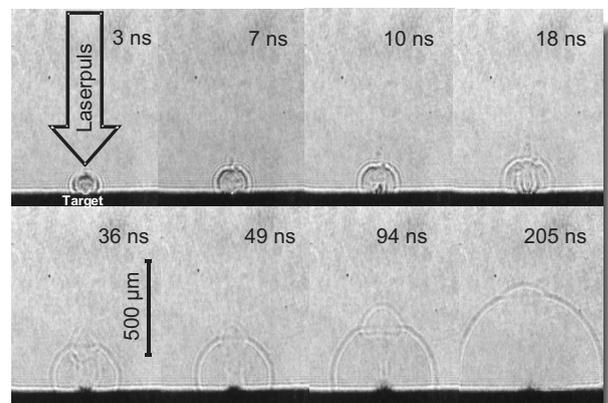


Abb. 1: Stoßwellenausbreitung beim Laserstrahlbohren mit ultrakurzen Pulsdauern. Die Zahlenwerte entsprechen der Zeitdifferenz zwischen dem Bearbeitungspuls und dem Zeitpunkt der Bildaufnahme.

hohe Bildwiederholraten im MHz-Bereich erforderlich, insbesondere wenn Vorgänge mit geringer Reproduzierbarkeit zu beobachten sind. Mit einem einzelnen Bilddetektor sind diese Repetitionsraten nicht zu erreichen, die Anforderungen lassen sich nur durch eine Anordnung aus mehreren Bildverstärker-Kameras erfüllen. Das aktuelle Kurzzeitdiagnostiksystem besteht aus vier gekoppelten ICCD-Kameras mit Gate-Öffnungszeiten bis 3 ns. Damit können 4 Aufnahmen mit Bildfolgezeiten von einer Nanosekunde sowie "Filme" mit bis zu 8 Einzelbildern aufgenommen werden.

### Topographie-Messsystem

Die quantitative und visuelle Erfassung mikro- und nanoskopischer Strukturen, die mit Laserpulsen zum Beispiel für tribologische Anwendungen hergestellt werden, kann mit herkömmlichen Messmethoden (Auflichtmikroskopie, Rauheitsmessgerät/Tastschnittmessgerät) nicht zuverlässig erfolgen. Besonders die Tiefenmessung, sowie die daraus erfolgende Volumenbestimmung sind bei zerklüfteten Geometrien unter 50 µm nicht mehr aussagekräftig. Die konfokale Mikroskopie ermöglicht eine schnelle, berührungslose Vermessung und Visualisierung von Strukturen im Bereich einiger Millimeter bis hin zu wenigen Mikrometern. Das Gerät zeichnet sich durch seinen großen Messbereich, sowie eine große Material- und Oberflächenvariabilität, speziell für technische Oberflächen, aus. Seine besondere konfokale Anordnung ermöglicht eine axiale Auflösung von weniger als 5 nm. Gleichzeitig wird die höchste laterale Auflösung, die mit optischen Profilmotern erreichbar ist, erzielt. Damit ist es möglich, Oberflächentopographien von kleinsten Nuten und Bohrungen bis hin zu Schweißnahtberräumen zu analysie-

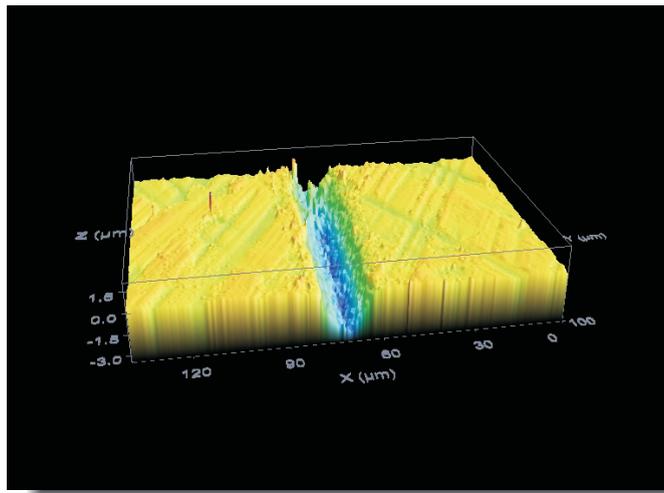


Abb.2: Beispiele für mit konfokaler Mikroskopie vermessene 3D-Strukturen.

Ren. Zur Vermessung wird die Probe auf dem Messtisch positioniert und die Konfokaleinheit in z-Richtung vollautomatisch bewegt. Aus den konfokalen Einzelbildern setzt der Computer hochaufgelöste 3D-Topographien zusammen. Oberflächenstrukturen können so direkt flächenhaft und berührungsfrei aufgenommen werden. Daraus lassen sich des Weiteren Rauheitswerte und Volumen bestimmen.

### Pikosekundenlaser

Auf dem Gebiet des Mikrostrukturierens und -bohrens lässt sich mit Pikosekundenlasern eine bislang unerreichbare Präzision erzielen. Allerdings kann die erforderliche Wirtschaftlichkeit erst durch neuartige Lasersysteme mit hohen Puls-wiederholraten realisiert werden. Die hierbei auftretenden Wechselwirkungen zwischen dem Laserstrahl und dem abströmenden Materialdampf bzw. dem Plasma und die daraus resultierenden Konsequenzen für das Bearbeitungsergebnis sind bislang jedoch noch weitgehend unverstanden. Mit Hilfe des hochrepetierenden Pikosekundenlasers ist es möglich, in diesem Bereich Untersuchungen zum Verdampfungsprozess und zur Plasmadynamik bei verschie-

denen Wellenlängen und Repetitionsraten durchzuführen und so zur Einführung und Absicherung industrieller Prozesse beizutragen.

### Nanosekundenlaser

Der Einsatz von Nanosekundenlasern zur Fertigung von Mikrobohrungen und Mikrostrukturen ist auf die Möglichkeit der Erstellung von extrem kleinen Strukturen mit hoher Präzision zurückzuführen. Im Vergleich zu Pikosekundenlasern zeichnen sich Nanosekundenlaser durch höhere Produktivität aus. In diesem Zusammenhang wirken sich allerdings vor allem die bei diesem thermischen Abtragsprozess zurückbleibenden Schmelzablagerungen qualitätsmindernd aus. Trotz der zunehmenden industriellen Bedeutung des Bohrens mit Nanosekundenlasern sind die Prozesse von Schmelzentstehung, -transport und -austrieb bislang nur lückenhaft verstanden. Mit Hilfe des Nanosekundenlasers in Verbindung mit Topographie- sowie Hochgeschwindigkeits-Messeinrichtungen ist es möglich, durch diagnostische Untersuchungen ein tieferes Prozessverständnis der Schmelzdynamik beim Laserbohren zu erlangen und somit die Basis für Prozessabsicherung zu schaffen.

### Hochgeschwindigkeits-Handlingsystem

Die gute Fokussierbarkeit moderner Festkörperlaser ermöglicht zum Beispiel beim Laserstrahlschweißen sehr große Vorschubgeschwindigkeiten. Dabei treten neue, bisher weitgehend nicht verstandene Phänomene auf. Durch Hochgeschwindigkeitseinrichtungen des Diagnostik-Zentrums soll ein physikalisches Verständnis dieser Prozesse und vor allem ihrer Begrenzungen geschaffen werden. Für diese Untersuchungen wird eine Maschine mit hochdynamischen Antrieben eingesetzt.

Veranstaltungshinweis:

**SLT '05**

Stuttgarter Lasertage '05  
28. - 30. September 2005

<http://www.slt.uni-stuttgart.de>

Institutsadresse:

Institut für Strahlwerkzeuge  
Pfaffenwaldring 43  
70569 Stuttgart  
Tel.: +49 (0)711-685 6840  
Fax: +49 (0)711-685 6842  
<http://www.ifsw.uni-stuttgart.de>

Autor:

Prof. Dr. Friedrich Dausinger  
FGSW - Forschungsgesellschaft  
für Strahlwerkzeuge  
Pfaffenwaldring 43  
70569 Stuttgart  
Tel.: +49 (0)711-351 451-12  
Fax: +49 (0)711-351 451-13  
E-Mail: [dausinger@fgsw.de](mailto:dausinger@fgsw.de)

Kontakt / Redaktion:

Dipl.-Ing. Friedemann Lichtner  
Tel.: +49 (0)711-351 451-28  
Fax: +49 (0)711-351 451-29  
E-Mail:  
[friedemann.lichtner@fgsw.de](mailto:friedemann.lichtner@fgsw.de)  
<http://www.fgsw.de>