

# Präzise Materialbearbeitung mit Ultrakurzpuls-Strahlquellen (PRIMUS)

Ultrakurze "Lichtblitze" der Femtosekunden-Laser werden künftig eine hochpräzise und minimal-invasive Materialbearbeitung im Mikro- und Nanobereich ermöglichen. Seit Oktober 1999 läuft hierzu das Projekt "Präzise Materialbearbeitung mit Ultrakurzpuls-Strahlquellen" (PRIMUS). Das im Projektverband "Femtosekundentechnologie" eingebundene Vorhaben wird vom BMBF im Rahmen des Programms "Laser 2000" gefördert. Mit dem vom Institut für Strahlwerkzeuge initiierten Verbundprojekt wird die Umsetzung der innovativen Femtosekundentechnologie von der Strahlquellenentwicklung bis zu fertigungstechnischen Industrieanwendungen höchster Präzision untersucht.

Ziel des Verbundprojekts PRIMUS ist die Entwicklung von neuen, industrietauglichen und vollständig auf Festkörper basierenden Strahlquellenkonzepten, mit denen die notwendigen Gebrauchseigenschaften erreicht werden können. Um das Potenzial der Femtosekundentechnologie nutzen zu können, werden gleichzeitig eine adäquate hochdynamische Systemtechnik erarbeitet sowie angepasste Bearbeitungsstrategien und neue Methoden zur Strahlcharakterisierung erprobt.

Die praxisnahe Zusammenarbeit der 13 Projektpartner

(neun Firmen und vier Forschungsinstitute) aus den Bereichen Strahlquellen, System- und Fertigungstechnik gewährleistet die umfassende und durchgängige technische Umsetzung der Ergebnisse. Das Vorhaben wird von der Robert Bosch GmbH koordiniert. Als weitere Unternehmen beteiligen sich die DaimlerChrysler AG, die HAAS Laser GmbH & Co. KG sowie die Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge mbH, die Gehring GmbH & Co., die Kugler GmbH, die Layertec-optische Beschichtungen GmbH, die Vollmer Werke Maschinen-

fabrik GmbH und die Wetzell GmbH (siehe Abb. 1). Bemerkenswert dabei ist der große Anteil an klein- und mittelständischen Firmen.

Das IFSW engagiert sich maßgeblich am Gesamtvorhaben, mit Arbeiten sowohl zur Entwicklung von Strahlquellen, der Strahl- und Optikcharakterisierung, der Analyse von Verfahrensgrundlagen einschließlich deren Simulation als auch zu Fertigungsstrategien des Präzisionsbohrens und der Oberflächenbearbeitung. Die FGSW, die

Zukunft nutzbar zu machen.

### Neue Strahlquellen

Für die präzise Materialbearbeitung werden Lasersysteme benötigt, die durch extrem kurze Laserpulse den Wärmeeintrag in das Werkstück deutlich verringern, so dass beim Abtragen möglichst wenig Schmelze entsteht (siehe LASER MAGAZIN 4/1999).

Heute verfügbare Laserstrahlquellen auf der Basis von Titan-Saphir-Lasern können zwar die benötigten kurzen Pulsdauern erzeugen, jedoch

**Gesamtziele des PRIMUS-Verbundprojekts**

- Herstellung kompakter, wartungsarmer (turn-key) und kostengünstiger Ultrakurzpuls-Strahlquellen in Zusammenarbeit mit deutschen Laserherstellern
- Bereitstellung geeigneter Methoden zur Strahlcharakterisierung
- Verminderung bzw. Vermeidung von Schmelze durch Verkürzung der Pulsdauer in den ps/fs-Bereich
- Erarbeitung von Systemtechnik und Bearbeitungsstrategien für die hochpräzise und effiziente Materialbearbeitung

sich als Nahtstelle zwischen Forschung und Industrieanwendung versteht, schafft in Zusammenarbeit mit der Firma HOLO OR aus Israel systemtechnische Grundlagen für die industrielle Umsetzung der Femtosekundentechnologie. Die Erarbeitung von verfahrenstechnischen Grundlagen wird durch das IFSW, das LZH sowie durch osteuropäische Partner unterstützt. Aufgrund der technologisch ähnlichen Zielsetzung - der Herstellung und Nutzbarmachung hochpräziser Strukturen - lassen sich Synergieeffekte bei Verfahren und Strahlquellen erwarten. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit bietet die Chance, die Femtosekundentechnologie für fertigungstechnische Anwendungen in naher

nur mit geringen mittleren Leistungen im Bereich weniger Watt. Aufgrund ihres geringen Wirkungsgrads und eines komplexen Aufbaus sind sie für den industriellen Einsatz nur eingeschränkt geeignet.

Mit dem BMBF-Verbundprojekt PRIMUS werden nun die Grundlagen für den Aufbau robuster, effizienter und industriell einsetzbarer Lasersysteme geschaffen. Dabei gewährleistet die enge Zusammenarbeit von Hochschulinstituten, Lasergerätehersteller (Firma HAAS Laser GmbH) und industriellen Anwendern die durchgängige technische Umsetzung des Vorhabens.

Ziel ist es, ein Lasersystem zu realisieren, das Laserpulse mit Pulsdauern unterhalb von 10 ps emittiert mit Pulsenergien

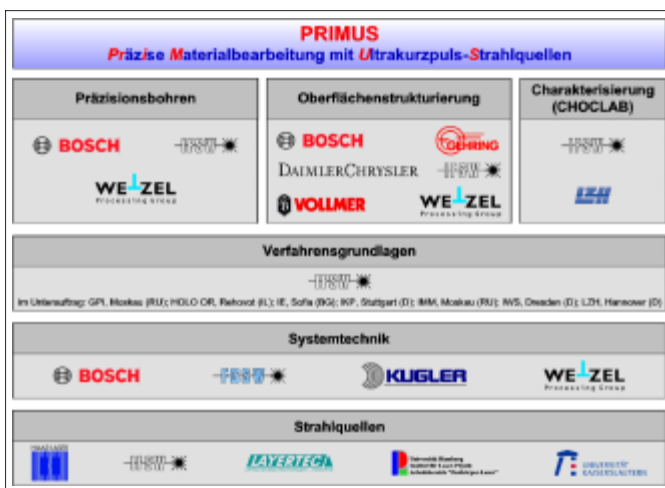


Abb. 1: Projektpartner und unterbeauftragte Forschungsinstitute

von einigen Millijoule bei gleichzeitig hoher Repetitionsrate im Kilohertz-Bereich. Derartige Laserpulse lassen sich nicht in reinem Oszillatorbetrieb erzeugen. Es ist daher nötig, auf Konzepte zurückzugreifen, die auf einem Oszillator mit einer oder mehreren anschließenden Verstärkerstufen beruhen. Grundlage für die Arbeiten am IFSW bildet das Prinzip des Scheibenlasers, um dessen einzigartige Eigenschaften in Bezug auf Effizienz, Skalierbarkeit zu hohen Leistungen und guter Strahlqualität

**Anforderungen an das Kurzpuls-Lasersystem:**

- Pulsdauer: 1 - 10 ps
- Pulsenergie: bis zu 5 mJ
- Repetitionsrate: bis zu 20 kHz
- mittlere Leistung: bis zu 50 W
- kompakte Bauweise
- niedrige Gesamtkosten

auszunutzen (siehe LASER MAGAZIN 5/1999). In einem **modengekoppelten Laseroszillator** werden mit einer hohen Repetitionsrate kurze Laserpulse mit niedriger Pulsenergie erzeugt. Ein **Pulspickersystem** untersetzt die hohe Repetitionsrate auf die benötigte Frequenz von einigen kHz. Die Pulse werden dann in einem **regenerativen Verstärker** zu hohen Pulsenergien verstärkt. Der regenerative Verstärker besteht aus einem Laserresonator mit hochreflektierenden Spiegeln und einer Yb:Yag-

Scheibe als laseraktivem Medium (siehe Abb. 2). Die Ein- und Auskopplung der Pulse geschieht über polarisationsverändernde bzw. polarisationsselektive Elemente. Der vom Oszillator erzeugte Puls wird über einen optischen Schalter in den Resonator eingekoppelt, durchläuft mehrere Male das verstärkende Medium und verlässt den Verstärker wiederum über einen optischen Schalter.

**Laserstrahl- und Optischarakterisierung**

Durch die mit den ultrakurzen Pulsen möglichen höheren Leistungsdichten können nichtlineare Effekte auftreten. Zusätzlich ist mit gänzlich neuen Effekten zu rechnen, die angepasste Charakterisierungsmethoden bedürfen. Die Charakterisierung von Laserstrahl und -optik erfolgt in engem Bezug zum Verbundvorhaben "CHOCLAB II", in dem neue Normen für Strahlformung und -führung entwickelt und verifiziert werden.

**Anwendungen**

Auf der Basis der Entwicklung neuer Strahlquellen und optischen Komponenten sowie der Erarbeitung von Verfahrensgrundlagen erlauben das Präzisionsbohren und -schneiden sowie das Strukturieren von technischen Oberflächen die wesentlichen

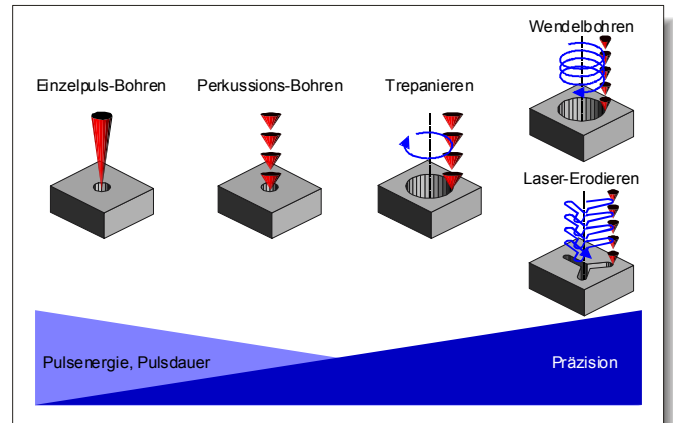


Abb. 3: Prozess-Strategien zur Erreichung hoher Präzision beim Laserbohren

**Anwendungen.**

In der Mikrobearbeitung ist im Rahmen des BMBF - Verbundprojekts "PRABO" bereits nachgewiesen worden, dass durch die Anwendung leistungsfähiger diodengepumpter Laser im ns-Bereich eine präzise Bearbeitung von Stahl- und Keramikwerkstoffen möglich ist (siehe LASER MAGAZIN 4/1999). Voraussetzung hierfür ist die Entwicklung neuer Verfahrensstrategien, z.B. das Auflösen der Bohrprozesse in eine Vielzahl von Einzelschritten (Wendelbohren, Lasererodieren; siehe Abb. 3). Eine weitere Qualitätsverbesserung wird nun mit der Anwendung der Femtosekundentechnologie erwartet. Durch die Verkürzung der Pulsdauer in den ps-/fs-Bereich wird eine schädigungsfreie, "kalte" Bearbeitung ermöglicht, bei welcher der Abtrag nicht durch sich bildende Schmelze bestimmt wird. Darüber hinaus ist eine adaptiv geregelte Einflussnahme auf die Strukturgeometrie möglich. Das Verbundprojekt PRIMUS erschließt mit der FS-Technologie innovative und weit reichende Anwendungsfelder in der Materialbearbeitung. In der Automobilindustrie dient das hochpräzise Mikrobohren für Einspritzsysteme der Herstellung von leistungsfähigen und ressourcenschonenden Antrieben. Das Oberflächenstrukturieren von Kompo-

ponenten in Motoren und Kraftstoffpumpen bietet eine Verschleißminderung hochbelasteter Komponenten und Steigerung des Wirkungsgrades. In der Druckindustrie können unflexible Verfahren zur Strukturierung der Druckmedien ersetzt werden sowie chemische Abfallprodukte, die beim Einsatz der konventionellen Ätztechnologie anfallen, erheblich reduziert werden. Weitere Anwendungen, deren Einsatz erprobt wird, sind das Bohren von Spinddüsen und das Bearbeiten von Diamantwerkzeugen höchster Leistungsfähigkeit.

Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Verbundprojekts PRIMUS.

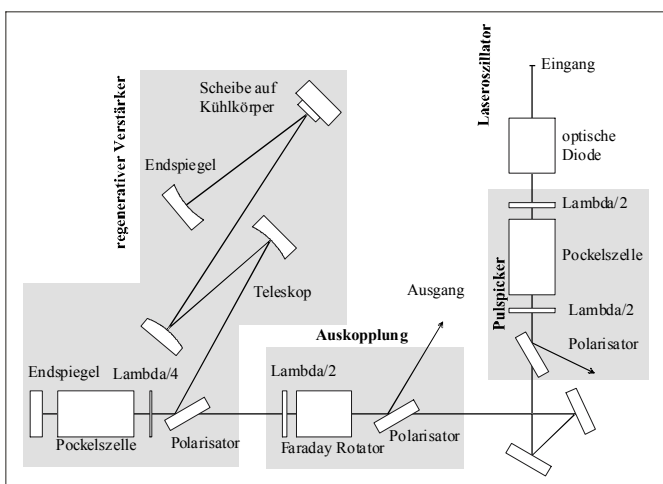


Abb. 2: Aufbau des regenerativen Verstärkers

**Institutsadresse:**  
 Institut für Strahlwerkzeuge  
 Pfaffenwaldring 43  
 70569 Stuttgart  
 Tel.: +49 (0)711-685 6840  
 Fax: +49 (0)711-685 6842

**Kontakt / Redaktion:**  
 Dipl.-Ing. Matthias G. Müller  
 FGSW - Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge  
 Nobelstr. 15  
 70569 Stuttgart  
 Tel.: +49 (0)711-687 4321  
 Fax: +49 (0)711-685 6842  
 E-Mail: matthias.mueller@fgsw.uni-stuttgart.de  
<http://www.ifsw.uni-stuttgart.de>