

Der Scheibenlaser: von der Idee bis zur Serienreife

Elf Jahre nach seiner Erfindung gehört der Scheibenlaser mit seiner hervorragenden Strahlqualität und Effizienz bei mehreren namhaften Herstellern zum Produktumfang und stellt seine Qualitäten im Industrieinsatz unter Beweis. Die Palette reicht von wenigen Watt bis in den Kilowatt-Bereich. Die Fortschritte in den vergangenen Jahren verdeutlichen sich in der Ausgangsleistung; die aus einer einzigen, wenige hundert Mikrometer dünnen Scheibe, auf über 2 kW gesteigert werden konnte; mehr als 10 kW sollten erreichbar sein.

Die Markteinführung des Scheibenlasers in den verschiedensten Leistungsklassen zeigt, wie konsequent das Konzept der diodenlasergepumpten Scheibe in den letzten Jahren verfolgt wurde und schließlich in serienreife Produkte mündete. So stehen heute Scheibenlasersysteme im Leistungsbereich weniger Watt bis zu Kilowatt für die industrielle und wissenschaftliche Anwendung zur Verfügung. Dabei wird der Scheibenlaser nicht nur vorhandene Lasersysteme aufgrund seiner Eigenschaften verdrängen können, er bietet vor allem die Möglichkeit, neue Anwendungsfelder zu erschließen. Die stetige Weiterentwicklung und die Ausnutzung des bei weitem noch nicht ausgeschöpften Potenzials, das der

Scheibenlaser bietet, ist künftig Aufgabe der Physiker und Ingenieure.

Das Prinzip

Zu den größten Stärken des Scheibenlasers gehörten zweifellos die exzellente Strahlqualität. Bedingt durch die flächige Kühlung der Rückseite des wenige hundert Mikrometer dünnen Laserkristalls, entstehen Temperaturgradienten vorwiegend in axialer Richtung, d.h. in Richtung des Laserstrahles. Diese haben jedoch kaum Einfluss auf den Laserstrahl selbst, d.h. es treten nur sehr geringe thermische Linseneffekte und asphärische Anteile im Brechungsindexprofil auf.

Gepumpt wird der Kristall in einer quasi-endgepumpten Anordnung, d.h. der Pump-

Domäne	Technologie	Pulslänge	Repetitionsrate	Energie	MF	Besonderheiten
ns	Q-switch	100..300 ns	bis 10 kHz	15 mJ @ 4 kHz	< 2	
	Regenerativer Verstärker	ca. 10 ns	bis 30 kHz	25 mJ @ 1 kHz	< 1,3	single-frequency
ps	Regenerativer Verstärker	5 ps	bis 30 kHz	5 mJ @ 1 kHz	< 1,3	
				1 mJ @ 10 kHz		
fs	Regenerativer Verstärker	700..900 fs	5..10 kHz	100..50 µJ	< 1,3	ohne CPA-Technik

Abb.2: Am IFSW demonstrierte Daten (Juni 2003).

strahl fällt unter einem Winkel zur Oberflächennormalen auf den Kristall. Der nichtabsorbierte Anteil der Pumpstrahlung wird in einem optischen System, bestehend aus Umlenkprismen und Parabolspiegel, mehrmals auf den Kristall abgebildet. Die Vorderseite des Kristalls ist daher sowohl für die Laserwellenlänge als auch für die Pumpwellenlänge entspiegelt, während die Rückseite beide Wellenlängen reflektiert. Das vorwiegend eingesetzte Material ist zur Zeit Yb:YAG bei einer Wellenlänge von 1030 nm.

Scheibenlaser im cw-Betrieb

Im kontinuierlichen Betrieb sind bis zu 4 Kilowatt Ausgangsleistung mit hervorragender Strahlqualität gezeigt worden, die in naher Zukunft auch kommerziell zur Verfügung stehen werden. Auch konnte im Multimode-Betrieb inzwischen eine Laserleistung von mehr als 2 Kilowatt aus einer Scheibe erzielt werden. Rechnungen zeigen, dass sogar mehr als 10 Kilowatt aus nur einer einzigen Scheibe extrahierbar sind.

Die Arbeiten am IFSW konzentrieren sich gegenwärtig auf den cw-Betrieb mit Ausgangsleistung im Grundmode. Ein Beispiel hierfür zeigt Abb.1, erzielt mit einem OEM-Laser, dessen Module über die Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge mbH vertrieben werden.

Bei einer Ausgangsleistung von 89 W wird eine optisch-optische Effizienz von 47 Prozent erreicht. Die Beugungsmaßzahl M^2 liegt bei 1,04. Auch eine Ausgangsleistung von 101 W mit einem M^2 von 1,14 wurde mit diesem System erzielt. Mit noch höherer Pumpleistung werden in naher Zukunft auch Laserleistungen von weit über 100 W nahezu beugungsbegrenzt erreichbar sein.

Scheibenlaser im Pulsbetrieb

Weiterer Schwerpunkt der Arbeiten ist die Untersuchung der Pulsbarkeit von Scheibenlasern und die damit erzielbaren Spezifikationen. Insbesondere für die Verbrennungsdiagnostik, die Luft- und Raumfahrttechnik und die Medizintechnik wurden Scheibenlaserpulssysteme entwickelt, die den Bereich von Nanosekunden bis hin zu Femtosekunden erschließen. Alle Systeme arbeiten mit höchster Strahlqualität bei sehr gutem Wirkungsgrad. Abb.2 gibt einen Überblick über bisher in den Laboren des IFSW erreichte Spezifikationen.

Pulsängen von einigen 100 ns bei hohen Ausgangsleistungen kann man hervorragend mit einer Güteschaltung generieren. Die bisher erreichten Energien liegen bei 15 mJ mit einer Repetitionsrate von 4 kHz.

Bei einer Pulslänge von ca.

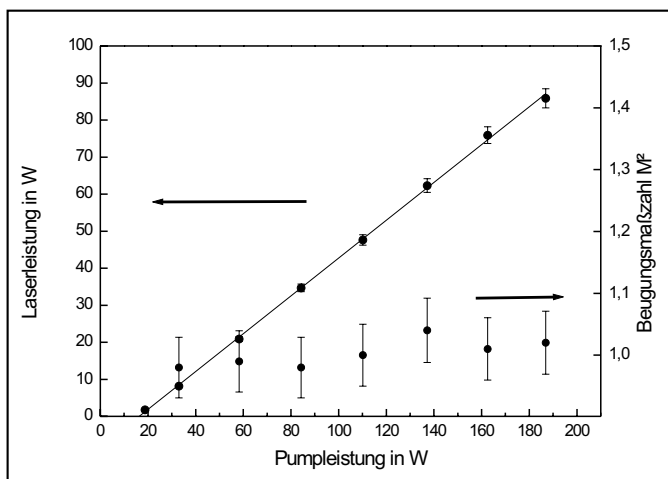


Abb. 1: Laserleistung und Beugungsmaßzahl eines OEM-Scheibenlasers.

10 ns wurde in einem regenerativen Verstärker 25 mJ Pulsenergie bei einer Repetitionsrate von 1 kHz demonstriert. Bei gleicher Wiederholrate wurde mit einer Pulslänge von ca. 5 ps eine Energie von 5 mJ extrahiert, ebenfalls mit einem regenerativen Verstärker.

Die Technologie der regenerativen Verstärkung ist die vorwiegende Art der Pulserzeugung für den Scheibenlaser für Pulslängen von kleiner 100 ns bis in den fs-Bereich. Dabei werden Pulse geringer Energie in einem Seed-Laser erzeugt, z.B. mittels modengekoppelten Lasern. Auch das Herausschneiden von ns-Pulsen aus einem cw-Strahl wird angewandt (Puls-Slicer). Nach dem Durchlaufen einer Separationseinheit, in dem der Seed-Strahl von dem verstärkten Strahl getrennt wird, wird der Puls des Seed-Lasers in einem Verstärkerresonator gefangen und zu vielfachen Umläufen gezwungen. Dabei wird der Puls bei jedem Durchlaufen des gepumpten Lasermaterials verstärkt und schließlich bei ausreichend hoher Energie ausgekoppelt. Typische Verstärkungen erreichen den Faktor 10^6 - 10^7 .

Da der Verstärker auf der Scheibenlasertechnologie basiert, bleibt die sehr gute Strahlqualität des Seed-Lasers erhalten.

Die Verstärkersysteme zeichnen sich besonders durch hohe

erzielbare Pulsenergien bei gleichzeitig hohen Repetitionsraten aus, die in der jeweiligen Zeitdomäne zu sehr großen Spitzenleistungen führen. Die exzellente Strahlqualität führt zu extrem guter Fokussierbarkeit. So können höchste Leistungsdichten erreicht werden, die aufgrund der hohen Repetitionsraten in schneller Folge abgerufen werden können.

bereits jetzt schon sehr hohen Effizienz des Scheibenlasers ist ebenso Ziel, erreichbar durch den Einsatz neuartiger optischer Materialien.

Im Pulsbetrieb steht das Überschreiten der 100 mJ-Marke bei 1 kHz Repetitionsrate im Bereich weniger ns im Mittelpunkt.

Weiterhin wird der Einsatz von alternativen laseraktiven Materialien untersucht wer-nz

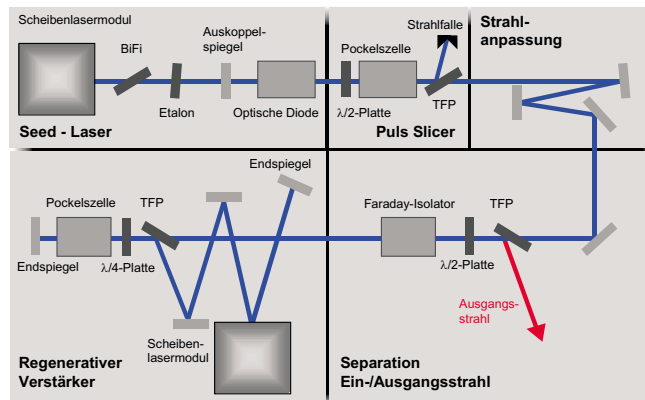


Abb.3: Funktionsprinzip eines regenerativen Scheibenlaserverstärkers.

Die FGSW bietet in Zusammenarbeit mit dem IFSW Auftragsentwicklungen an, bei denen gepulste Scheibenlasersysteme höchster Strahlqualität speziell an die Kundenwünsche angepasst werden.

Zukünftige Entwicklungen

Im kontinuierlichen Betrieb wird eine Steigerung der Grundmode-Leistung bis in den kW-Bereich angestrebt. Eine weitere Erhöhung der

den, wie z.B. Yb-dotierte Wolframate. Erste Ergebnisse sind in Bezug auf eine gesteigerte Effizienz und Einsatz im Pulsbetrieb vielversprechend.

Technologietransfer

In einer Zusammenarbeit mit dem IFSW, den Erfindern der Scheibenlasertechnologie, hat die FGSW Scheibenlasermodule und OEM-Laser entwickelt, die erstmalig auf der Lasermesse 2003 in München der Öffentlichkeit präsentiert wurden. Das Augenmerk liegt dabei darauf, aufbauend auf einem modularen System, den Anwendern einen Einstieg in die Scheibenlasertechnologie zu ermöglichen, um von den Vorteilen wie höchste Strahlqualität bei exzellentem Wirkungsgrad zu profitieren. Mit Hilfe dieser Module können u.a. kontinuierliche, gepulste, single-frequency oder auch frequenzverdoppelte Systeme realisiert werden.

Im Mittelpunkt der angebotenen Produktpalette steht das

Scheibenmodul, das aus der qualifizierten Kristallscheibe, der Optik für die Mehrfachabbildung und einer Wasserkühlung besteht. Für das Betreiben benötigt man Pumpdioden und eine entsprechende Einkoppeloptik, die auf Wunsch auch bereits fertig aufgebaut lieferbar sind. Resonatoren, aufgebaut auf eine Grundplatte ergänzen die Module, bis hin zu Grundmode-OEM-Scheibenlasern verschiedenster Leistungen. Zusätzlich zu den ausgezeichneten optischen Eigenschaften besitzt dieses System eine sehr hohe mechanische Stabilität. Ein erfolgreicher Test wurde für die Luft- und Raumfahrttechnik im Fallturm Bremen durchgeführt, bei dem ein Single-Frequency-Scheibenlaser in Betrieb aus 110 m Höhe abgeworfen wurde.

Die Stuttgarter Lasertage 2003

Auf den Stuttgarter Lasertagen am 25. und 26. September 2003 - eine bedeutende Tagung zur Standortbestimmung der Lasertechnologie in der industriellen Materialbearbeitung - werden Vertreter aus Industrie und Forschung über Stand und aktuelle Anwendung des Scheibenlasers berichten. Ausführliche Informationen finden Sie im Internet unter ["www.slt.uni-stuttgart.de"](http://www.slt.uni-stuttgart.de).

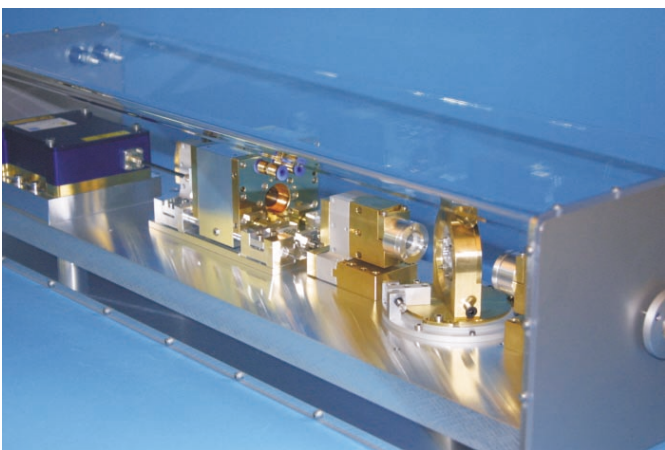


Abb.4: OEM-Scheibenlaser, angeboten über die Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge mbH.

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:
 Dipl.-Ing. (FH) Frank Butze

Kontakt / Redaktion:
 Dipl.-Ing. Friedemann Lichtner
 FGSW - Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge
 Nobelstr. 15
 70569 Stuttgart
 Tel.: +49 (0)711-687 4311
 Fax: +49 (0)711-6868 7281
 E-Mail: friedemann.lichtner@fgsw.de
<http://www.fgsww.de>