

# **Untersuchung von Scheibenlasern zur Erzeugung von Pulsen mit einer Dauer von weniger als 500 fs**

von Dr.-Ing. Benjamin Dannecker  
Universität Stuttgart



utzverlag München

Als Dissertation genehmigt  
von der Fakultät für Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik  
der Universität Stuttgart

Hauptberichter: Prof. Dr. phil. nat. Thomas Graf  
Mitberichter: Prof. Dr. rer. nat. Thomas Dekorsy

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation  
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische  
Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Bei Fragen zur Produktsicherheit wenden Sie sich bitte  
an unsere Adresse: utzverlag GmbH · Herr Matthias  
Hoffmann-Nymphenburger Straße 91 · 80636  
München · Telefon: 0049-89-27779100 oder  
[www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de)

Zugleich: Dissertation, Stuttgart, Univ., 2025

D DE 93

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt.  
Sämtliche, auch auszugsweise Verwertungen bleiben vorbehalten.

Copyright © utzverlag GmbH 2025

ISBN (Print) 978-3-8316-5080-4  
ISBN (E-Book) 978-3-8316-7819-8

Printed in Germany

utzverlag GmbH, München  
Tel.: 089-277791-00 · [www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de)

# Inhalt

<b>Inhalt</b>	<b>5</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>9</b>
<b>Kurzfassung der Arbeit</b>	<b>11</b>
<b>Extended Abstract</b>	<b>15</b>
<b>1 Stand der Technik der ultrakurz gepulsten Scheibenlaser</b>	<b>19</b>
1.1 Modengekoppelte Scheibenlaseroszillatoren . . . . .	19
1.2 Scheibenlaser-Multipassverstärker und Konzepte zur Pulskompression . . . . .	27
<b>2 Zielsetzung</b>	<b>29</b>
2.1 Ziele: Modengekoppelter Yb:YAB-Scheibenlaser und modengekoppelter Yb:CaF <sub>2</sub> -Scheibenlaser . . . . .	29
2.2 Ziele bei der Pulskompression nach einem Scheibenlaser-Multipassverstärker . . . . .	31
<b>3 Eigenschaften verschiedener Ytterbium dotierter Lasermaterialien</b>	<b>32</b>
3.1 Gewichtete Wärmeleitfähigkeit und spektrale Emissionsbandbreite . . . . .	32
3.2 Sättigungsfluenz und Produkt $\sigma_{\text{em},l} \cdot \tau_{\text{fluo}}$ . . . . .	35
<b>4 Yb:YAB und Yb:CaF<sub>2</sub> im modengekoppelten Scheibenlaser</b>	<b>38</b>
4.1 Der modengekoppelte Yb:YAB-Scheibenlaser . . . . .	39
4.1.1 Entwicklung von SESAMs für die Modenkopplung von Yb:YAB-Scheibenlasern . . . . .	39
4.1.2 Resonatorauslegung und Laserbetrieb . . . . .	43
4.2 Der modengekoppelte Yb:CaF <sub>2</sub> -Scheibenlaser . . . . .	56
4.2.1 Auslegung von Resonatoren für den modengekoppelten Betrieb ohne Güteschaltungsinstabilitäten . . . . .	56

---

4.2.1.1	Bestimmung des optimalen Auskoppelgrades . . . . .	56
4.2.1.2	Resonator für den grundmodenahen Betrieb . . . . .	58
4.2.1.3	Anpassungen für den modengekoppelten Betrieb . . . . .	62
4.2.2	Modengekoppelter Betrieb des Yb:CaF <sub>2</sub> -Scheibenlasers . . . . .	66
4.3	Vergleich der Ergebnisse mit dem Stand der Technik . . . . .	72
<b>5</b>	<b>Kompression von in Scheibenlaser-Multipass-verstärkern spektral verbreiterten Pulsen</b>	<b>77</b>
5.1	Simulationsmodell . . . . .	78
5.2	Aufbau des Scheibenlaser-Multipassverstärkers und des Pulskompressors	82
5.3	Ergebnisse der spektralen Verbreiterung und der Pulskompression . . . . .	85
5.3.1	Experimentelle Ergebnisse . . . . .	85
5.3.2	Abgleich des Simulationsmodells . . . . .	92
5.4	Vergleich der Ergebnisse mit dem Stand der Technik . . . . .	98
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>102</b>
6.1	Yb:YAB und Yb:CaF <sub>2</sub> im modengekoppelten Scheibenlaseroszillator . . . . .	102
6.2	Pulskompression nach spektraler Verbreiterung im Scheibenlaser-Multipassverstärker . . . . .	105
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>107</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>121</b>
I	Analyse des Pulszugs des Yb:YAB-Scheibenlasers . . . . .	121
II	Yb:CaF <sub>2</sub> Scheibe auf Diamantwärmesonde . . . . .	126
III	Tabellarische Übersicht der spektroskopischen Werte . . . . .	131
<b>Danksagung</b>		<b>133</b>

# Symbolverzeichnis

Symbol	Beschreibung	Einheit
$\Delta\lambda_{\text{FWHM}}$	Spektrale Emissionsbandbreite (FWHM) des Laserübergangs	nm
$\Delta R$	Modulationstiefe eines SESAMs	%
$\eta_{\text{QD}}$	Quantendefekt	-
$\gamma_{\text{SPM}}$	Selbstphasenmodulationsfaktor (SPM-Faktor)	rad/W
$\gamma_{\text{SPM},L_n}$	SPM-Faktor eines Pulspropagationsabschnitts der Länge $L_n$	rad/W
$\kappa_{\text{th}}$	Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)
$k_{\text{th,QD}}$	Wärmeleitfähigkeit $\kappa_{\text{th}}$ geteilt durch $(1 - \eta_{\text{QD}})$	W/(m·K)
$\lambda$	Wellenlänge	nm
$\lambda_0$	Zentrale Wellenlänge des Spektrums eines Laserpulses	nm
$\lambda_l$	Wellenlänge des Laserstrahls	nm
$\lambda_{\widehat{\text{GDD}}}$	Wellenlänge, bei d. dispersive Spiegel maximale GDD aufweisen	nm
$\lambda_p$	Wellenlänge des Pumplaserstrahls	nm
$\nu$	Frequenz eines Photons	Hz
$\omega$	Frequenz im Spektrum eines Laserpulses ( $\omega = 2\pi\nu$ )	1/s
$\omega_0$	Zentrale Frequenz des Spektrums eines Laserpulses	1/s
$\sigma_{\text{abs,l}}$	Effektiver Absorptionsquerschnitt bei der Laserwellenlänge	cm <sup>2</sup>
$\sigma_{\text{em,l}}$	Effektiver Emissionsquerschnitt bei der Laserwellenlänge	cm <sup>2</sup>
$\sigma_{\text{abs,p}}$	Effektiver Absorptionsquerschnitt bei der Pumplaserwellenlänge	cm <sup>2</sup>
$\tau_{\text{AC}}$	Halbwertsbreite einer Autokorrelation	fs
$\tau_{\text{fluo}}$	Fluoreszenzlebensdauer	μs
$\tau_p$	Pulsdauer	fs
$A(t)$	Normierte Amplitude d. Einhüllenden d. elektrischen Felds [1]	$\sqrt{W}$
$\tilde{A}(\omega)$	Fouriertransformierte zu $A(t)$ in der Frequenzdomäne gemäß [1]	$\sqrt{Js}$
$A_{\text{eff,A}}$	Effektive Querschnittsfläche d. Lasermode im SESAM	mm <sup>2</sup>
$A_{\text{eff,L}}$	Effektive Querschnittsfläche d. Lasermode im Lasermedium	mm <sup>2</sup>
at.%	Atomare Dotierungskonzentration	%
$c$	Lichtgeschwindigkeit	m/s
$E_{\text{P,krit}}$	Kritische Pulsennergie für QML-Betrieb	μJ
$E_p$	Pulsennergie	μJ
$F_l$	Fluenz, bei der Schaden nach Expositionszeit von 5 min auftritt	J/cm <sup>2</sup>

---

$F_{\text{sat,LAM}}$	Sättigungsfluenz eines Lasermaterials	$\mu\text{J}/\text{cm}^2$
$F_{\text{sat,A}}$	Sättigungsfluenz eines SESAMs	$\mu\text{J}/\text{cm}^2$
$F_{\text{sat,L}}$	Sättigungsfluenz eines Lasermaterials im Oszillatator	$\mu\text{J}/\text{cm}^2$
$G$	Verstärkungsfaktor	-
$g(\omega)$	Frequenzabhängiger Verstärkungskoeffizient	$1/\text{cm}$
$g_{kl}$	Kleinsignalverstärkungskoeffizient gemäß [2]	$1/\text{cm}$
$h$	Plancksches Wirkungsquantum	$\text{J}\text{s}$
$m$	Anzahl der Einfachdurchgänge durch den Laserkristall	-
$n_0$	Brechungsindex	-
$n_2$	nichtlinearer Brechungsindex	$\text{m}^2/\text{W}$
$P(t)$	Leistung eines Laserpulses zum Zeitpunkt t	$\text{W}$
$P_{cr}$	Kritische Spitzenleistung, ab der Selbstfokussierung auftritt	$\text{GW}$
$q$	Komplexer Strahlparameter	$\text{m}$
$w(z)$	Strahlradius in der Ebene z	$\text{mm}$
$W_p n_g$	Pumprate gemäß [2]	$1/(\text{cm}^3 \cdot \text{s})$
$z$	Abstand von der Strahltaille	$\text{m}$
$z_R$	Rayleigh-Länge	$\text{m}$

# Abkürzungsverzeichnis

**AlAs** Aluminiumarsenid

**AlInAs** Aluminiumindiumarsenid

**AOM** Akusto-Optischer Modulator

**AR** antireflektierend

**BP** Brewsterplatte

**CPA** Chirped Pulse Amplifier

**FWHM** Full width at half maximum - volle Halbwertsbreite

**GaAs** Galliumarsenid

**GDD** Group Delay Dispersion - Gruppenverzögerungsdispersion

**GVD** Group Velocity Dispersion - Gruppengeschwindigkeitsdispersion

**HD** highly dispersive - hoch dispersiv

**HHG** High Harmonic Generation - Erzeugung von hohen Harmonischen

**HR** hochreflektierend

**IFSW** Institut für Strahlwerkzeuge

**KLM** Kerr-Linsen-Modenkopplung

**LIDT** Laser Induced Damage Threshold - Zerstörschwelle bei Bestrahlung mit Laser

**OC** Output Coupler - Auskoppelspiegel

**OPCPA** Optical Parametric Chirped Pulse Amplifier

**PCF** Photonic Crystal Fiber

**ppm** parts per million

**QKFP** Quasi kollimierte freie Propagation

**QML** Q-switched Modelocking - Modenkopplung mit Güteschaltungsinstabilitäten

**QW** Quantum Well - Quantenfilm

**RMP** Retro-Reflecting Mirror Pair

**RBW** Resolution bandwidth

**SCF** Single Crystal Fibre

**SESAM** Semiconductor Saturable Absorber Mirror

**SPM** Selbstphasenmodulation

**TD** Thin Disk - dünne Scheibe

**TEM** Transversal electromagnetic

**TFP** Thin Film Polarizer - Dünnschichtpolarisatorspiegel

**UKP** Ultrakurzpuls**Yb:CaF<sub>2</sub>** Ytterbium-dotiertes Calcium-Fluorid**Yb:CALGO** Ytterbium-dotiertes CaGdAlO<sub>4</sub>**Yb:KLuW** Ytterbium-dotiertes KLu(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>**Yb:KYW** Ytterbium-dotiertes KY(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>**Yb:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** Ytterbium-dotiertes Lutetiumoxid**Yb:LuScO<sub>3</sub>** Ytterbium-dotiertes Lutetium-Scandium-Oxid**Yb:YAB** Ytterbium-dotiertes Yttrium-Aluminium-Borat (YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>)**Yb:YAG** Ytterbium-dotiertes Yttrium-Aluminium-Granat (Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)**Yb:Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** Ytterbium-dotiertes Yttriumoxid

# Kurzfassung der Arbeit

Mit Hilfe von Ultrakurzpuls-Laserstrahlquellen (UKP-Laser) können Lichtpulse mit Pulsennergien von mehreren hundert mJ und mit Pulsdauern von unter 1 ps realisiert werden. Aufgrund der Eigenschaften ultrakurzer Laserpulse und der Wechselwirkung dieser Pulse mit Materialien ergeben sich vielfältige Anwendungen für UKP-Laser. Da ultrakurze Pulse deutlich kürzer sind als die Dauer der lokalen Abkühlung durch Wärmeleitung vieler zu bearbeitender Materialien, können sie beispielsweise dazu genutzt werden, durch lokale Ablation Mikrostrukturen zu erzeugen, ohne das umliegende Material thermisch zu schädigen [3–5]. Aufgrund der hohen Intensitäten von UKP-Laserpulsen kann die Mehrphotonenabsorption dazu genutzt werden, auch Materialien zu bearbeiten, die bei niedriger Intensität transparent sind [6–11], zum Beispiel in der Herstellung von Displaygläsern [12]. Ein weiteres Anwendungsgebiet für UKP-Laser ist deren Nutzung als Werkzeuge in der Grundlagenforschung [13, 14].

Bei der Erzeugung und Verstärkung ultrakurzer Pulse ist die maximal erzielbare Pulsennergie durch nichtlineare Effekte im Lasermedium begrenzt. Diese hängt vom Strahldurchmesser und der Propagationslänge im Lasermedium der unterschiedlichen Laserarchitekturen ab. Im Scheibenlaser kann die Leistung durch Vergrößerung des Strahldurchmessers gesteigert werden, wodurch Ausgangsleistungen von mehreren kW erzielt werden können. In UKP-Scheibenlasern sind aufgrund des großen Strahldurchmessers die Spitzenintensitäten in der Scheibe selbst bei hoher Pulsennergie vergleichsweise gering. Zusätzlich sind nichtlineare Effekte auch bei hoher Spitzenleistung aufgrund der kurzen Propagation in der dünnen Scheibe schwach. UKP-Scheibenlaseroszillatoren und -verstärker sind daher gut geeignet für die Erzeugung von Laserpulsen bei hoher mittlerer Leistung und gleichzeitig hoher Pulsennergie. Die mit diesen minimal erzielbare Pulsdauer hängt von der Breite des Verstärkungsspektrums des genutzten Lasermaterials ab. Das derzeit etablierteste Verstärkungsmaterial für Scheibenlaser, Yb:YAG, weist ein Verstärkungsspektrum mit einer vollen Halbwertsbreite von etwa 8 nm auf. Im mittels „Semiconductor Saturable Absorber Mirror“ (SESAM) modengekoppelten Oszillator mit Yb:YAG weisen die kürzesten erzielbaren Pulse daher eine Dauer von 700 fs bis 800 fs auf [15]. Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit wurden Ansätze zur Reduktion der mit Scheibenlaseroszillatoren und -verstärkern erzielbaren Pulsdauern untersucht.

Für Anwendungen, die mittlere Leistungen von einigen 10 W und hohe Repetitionsraten

von 1 MHz bis zu einigen 10 MHz erfordern [16–18], eignen sich modengekoppelte Scheibenlaseroszillatoren ohne zusätzliche Laserverstärkerstufen. Die Lasermaterialien Yb:YAB und Yb:CaF<sub>2</sub> sind aufgrund ihrer im Vergleich zu Yb:YAG größeren Verstärkungsbandbreite dazu geeignet, im Scheibenlaseroszillator kurze Pulse mit einer Dauer von weniger als 500 fs zu realisieren. Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit wurde erstmals der modengekoppelte Betrieb mit diesen Materialien im Scheibenlaser untersucht.

Aus Untersuchungen der spektroskopischen Eigenschaften von Yb:CaF<sub>2</sub> [19–21] können das Potenzial, mit Hilfe dieses Lasermaterials in einem Scheibenlaser vergleichsweise kurze Pulse zu erzeugen, aber auch die dabei auftretende Herausforderung der Güteschaltunginstabilitäten abgeleitet werden. Die vorliegende Arbeit zeigt Lösungsmöglichkeiten auf, um trotz der hohen Sättigungsfluenz von Yb:CaF<sub>2</sub> den modengekoppelten Betrieb im Scheibenlaseroszillator ohne Güteschaltunginstabilitäten zu realisieren. Hierfür wurden Auslegungskriterien aufgezeigt und anhand dieser geeignete Resonatoren ausgelegt und aufgebaut. Mit einem Yb:CaF<sub>2</sub>-Scheibenlaseroszillator wurden bei einer Repetitionsfrequenz von 10 MHz Pulse mit einer Energie von 1,8 µJ und einer Spitzenleistung von mehr als 5,5 MW bei einer Pulsdauer von 285 fs erzeugt.

Yb:YAB (YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>) ist ein weiteres Lasermaterial mit vergleichsweise großer spektraler Verstärkungsbandbreite [22, 23] und wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstmals in einem modengekoppelten Scheibenlaseroszillator genutzt. Damit wurden bei einer mittleren Leistung von 19 W Pulse mit einer Dauer von 462 fs erzeugt. In einer weiteren Konfiguration mit reduzierter Dispersion wurden kürzere Pulse mit einer Dauer von 410 fs bei einer mittleren Leistung von 13 W erzeugt. Im Lasermaterial Yb:YAB selbst kann die zweite Harmonische der Laseroszillation angeregt werden [24]. Diese intrinsische Frequenzverdopplung wurde im modengekoppelten Betrieb bei unterschiedlichen mittleren Leistungen, Pulsdauern und Spitzenleistungen der Pulse im Yb:YAB-Scheibenlaseroszillator untersucht. Bei der maximal erzielten resonatorinternen Spitzenleistung von 23 MW betrug die Konversionseffizienz  $56 \cdot 10^{-6}$  pro Resonatorumlauf. Für die Stabilität der Modenkopplung und die optische Effizienz von Scheibenlasern sind Verluste in dieser Größenordnung vernachlässigbar. Die intrinsische Frequenzverdopplung ist allerdings interessant, um bei der Modenkopplung mögliche Störungen, wie beispielsweise das Auftreten von Doppelpulsen, zu detektieren. Die Konversionseffizienz der Frequenzverdopplung stieg ungefähr linear mit der Spitzenleistung des umlaufenden Pulses an. Daher können die potenziell auftretenden Störungen im Yb:YAB-Scheibenlaser durch Detektion eines Sprungs der mittleren Leistung der zweiten Harmonischen erkannt werden. Zudem kann anhand der gemessenen Leistung der zweiten Harmonischen nach einer Kalibrierung auch die Pulsdauer an jedem Betriebspunkt bestimmt werden,

ohne eine vergleichsweise aufwendige Messung beispielsweise mittels Autokorrelator durchzuführen.

Für Anwendungen, die eine mittlere Leistung von über 1 kW und eine Pulsenergie von mehreren mJ benötigen, sind Scheibenlaser-Multipassverstärker geeignete Strahlquellen [25]. In der vorliegenden Arbeit wurde ein Ansatz zur Verkürzung der mit Scheibenlaser-Multipassverstärkern erzielbaren Pulsdauer untersucht. Hierzu wurde die spektrale Verbreiterung durch Selbstphasenmodulation bei der Pulspropagation der Laserstrahlung im Verstärker zur nachfolgenden Pulskompression genutzt. Der Scheibenlaser-Multipassverstärker wurde bei einer mittleren Ausgangsleistung von 0,4 kW und einer Pulsenergie von mehr als 2 mJ betrieben. Der Einfluss der Verstärkung, Gruppenverzögerungsdispersion und Selbstphasenmodulation im Verstärker auf die Laserpulse wurde mit einem numerischen Modell untersucht. Ein Kompressor wurde mit Hilfe des Simulationsmodells ausgelegt und mit dispersiven Spiegeln aufgebaut. Ohne Kompression wiesen die Pulse eine Dauer von mehr als 0,8 ps auf. Mit Hilfe des Kompressors wurden Pulse mit einer Dauer von 136 fs erzielt. Die Spitzenleistung der erzeugten Pulse wurde durch die Kompression von 2 GW auf 9 GW gesteigert.

# Extended Abstract

Ultrafast lasers enable the generation of laser pulses with energies of several hundred mJ and durations of less than 1 ps. Due to the properties of ultrashort laser pulses and their interaction with materials there are many applications for ultrafast lasers. Since the duration of ultrashort laser pulses is significantly shorter than the time required for local cooling by heat conduction in many materials, ultrafast lasers can be used to obtain localized ablation in order to produce microstructures with minimal “heat affected zone“ on the workpiece [3–5]. Ultrafast lasers can generate pulses with intensities suitable for multiphoton absorption to even process materials that are transparent at low intensities [6–11], for instance in manufacturing of glass displays [12]. Furthermore, ultrafast lasers are essential tools for several fields in fundamental research [13, 14].

Nonlinear effects in the laser material limit the maximally obtainable pulse energy, which depends on the diameter of the laser beam and propagation length in the laser material of different ultrafast laser architectures. Thin-disk oscillators and amplifiers are suitable to generate pulses at high average power and with high energy. This results from the comparatively large beam diameters and short propagation distance of the laser radiation in the thin-disk laser crystal. The shortest attainable pulse duration depends on the width of the gain spectrum exhibited by the laser material. One widely established gain material for thin-disk lasers is Yb:YAG. This laser material has a comparatively narrow gain spectrum with a full width at half maximum of about 8 nm, therefore limiting the shortest achievable pulse durations in oscillators modelocked with Semiconductor Saturable Absorber Mirror (SESAM) to approximately 700 to 800 fs [15]. The present work aims for a reduction of the shortest attainable pulse durations and increase of peak powers obtained from thin-disk laser oscillators and amplifiers.

Ultrafast thin-disk oscillators can generate ultrashort pulses at average powers of several 10 W with high repetition rates of 1 MHz to few 10 MHz as required for some applications [16–18] without further laser amplifier stages. In this context Yb:CaF<sub>2</sub> and YB:YAB (YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>) are promising laser materials for the generation of pulses with durations of less than 500 fs in SESAM-modelocked thin-disk oscillators due to their broad gain spectrum [19–23]. Modelocked Yb:YAB and Yb:CaF<sub>2</sub> thin-disk oscillators were explored for the first time within the present work.

Previous work on the spectroscopic properties of Yb:CaF<sub>2</sub> [19–21] revealed its potential to generate very short pulses, as well as the challenge of Q-switching instabilities arising due to its high saturation fluence. In the present work, solutions were identified to address these challenges which allow to obtain modelocked operation using Yb:CaF<sub>2</sub> in a thin-disk oscillator without Q-swichting instabilities. Accordingly, design criteria for oscillators were found that allowed configuring and setting up resonators suitable for modelocking. The realization of modelocking in a Yb:CaF<sub>2</sub> thin-disk oscillator by use of SESAM resulted in the generation of 285 fs long pulses at a repetition rate of 10 MHz with a pulse energy of 1.8 µJ and a peak power of 5.5 MW.

Yb:YAB is another promising laser material with regard to its comparatively large width of the gain spectrum [22, 23] and was used in a modelocked thin-disk oscillator for the first time in the framework of the present thesis. The Yb:YAB thin-disk oscillator generated 462 fs long pulses at an average power of 19 W. Using another configuration with reduced dispersion, shorter 410 fs long pulses were obtained at an average power of 13 W. In the Yb:YAB crystal, the second harmonic can be generated [24]. This intrinsic frequency doubling was investigated in modelocked operation at different average powers, pulse durations and peak powers. The conversion efficiency per resonator round-trip was approximately  $56 \cdot 10^{-6}$  at the highest peak power obtained in the oscillator of 23 MW. The stability of modelocking and optical efficiency of the thin-disk oscillator are not significantly affected by losses in this order of magnitude. However, the intrinsic frequency doubling is interesting to detect potential instabilities in modelocked operation, such as the occurrence of secondary pulses. Since the conversion efficiency scaled linearly with the peak power of the infrared pulses, the intrinsic second harmonic generation in Yb:YAB can be used for straightforward monitoring of the oscillating laser pulses: By measuring the average power of the laser pulses at the wavelengths of 520.5 nm and 1041 nm the peak power and pulse duration of the laser pulses can be calculated at any setpoint of laser operation. This allows to tune the laser to emit pulses with a desired duration without using an external characterization setup (e.g. an autocorrelator) and furthermore allows to detect if the laser operates in an unwanted mode of operation, such as double pulsing.

For applications requiring significantly higher average powers of more than 1 kW and pulse energies of several mJ, thin-disk multipass laser amplifiers are known to be a suitable laser architecture [25]. Within the scope of the present work the concept of a thin-disk multipass amplifier that exploits nonlinear spectral broadening was investigated with the aim to significantly shorten the obtainable pulse durations. For this purpose, the spectral broadening of the laser pulse due to self-phase modulation occurring in the laser amplifier was exploited for pulse compression. The thin-disk multipass amplifier

was operated at an average power of 0.4 kW and a pulse energy of more than 2 mJ. A numerical simulation model was used to investigate the effect of amplification, group delay dispersion and self-phase modulation on the laser pulses in the amplifier. A pulse compressor was designed using the simulation model and set up using dispersive mirrors. Prior to compression, the pulses had a duration of more than 0.8 ps. The pulse compressor was used to obtain pulses with a duration of 136 fs. The peak power of the compressed output pulses was approximately 9 GW, more than four times higher than the corresponding value of the uncompressed pulses.

# Laser in der Materialbearbeitung

Forschungsberichte des IFSW (Institut für Strahlwerkzeuge)

Herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. habil. Helmut Hügel, Universität Stuttgart

Forschungsberichte des IFSW von 1992 bis 1999 erschienen im Teubner Verlag, Stuttgart

## Zoske, Uwe

Modell zur rechnerischen Simulation von Laserresonatoren und Strahlführungssystemen  
1992, 186 Seiten, ISBN 3-519-06205-4

## Gorri, Michael

Adaptive Optik und Sensorik im Strahlführungs system von Laserbearbeitungsanlagen  
1992, vergriffen, ISBN 3-519-06206-2

## Mohr, Ursula

Geschwindigkeitsbestimmende Strahleigenschaften und Einkoppelmechanismen beim CO<sub>2</sub>-Laserschneiden von Metallen  
1993, 130 Seiten, ISBN 3-519-06207-0

## Rudlaff, Thomas

Arbeiten zur Optimierung des Umwandlungshär tens mit Laserstrahlen  
1993, 152 Seiten, ISBN 3-519-06208-9

## Borik, Stefan

Einfluß optischer Komponenten auf die Strahl qualität von Hochleistungslasern  
1993, 200 Seiten, ISBN 3-519-06209-7

## Paul, Rüdiger

Optimierung von HF-Gasentladungen für schnell längsgeströmté CO<sub>2</sub>-Laser  
1994, 149 Seiten, ISBN 3-519-06210-0

## Wahl, Roland

Robotergeführtes Laserstrahlschweißen mit Steuerung der Polarisationsrichtung  
1994, 150 Seiten, ISBN 3-519-06211-9

## Frederking, Klaus-Dieter

Laserlöten kleiner Kupferbauteile mit geregelter Lotdrahtzufuhr  
1994, 139 Seiten, ISBN 3-519-06212-7

## Grünewald, Karin M.

Modellierung der Energietransferprozesse in längsgeströmté CO<sub>2</sub>-Lasern  
1994, 158 Seiten, ISBN 3-519-06213-5

## Shen, Jialin

Optimierung von Verfahren der Laseoberflä chenbehandlung mit gleichzeitiger Pulverzufuhr  
1994, 160 Seiten, ISBN 3-519-06214-3

## Arnold, Johannes M.

Abtragen metallischer und keramischer Werkstoffe mit Excimerlasern  
1994, 192 Seiten, ISBN 3-519-06215-1

## Holzwarth, Achim

Ausbreitung und Dämpfung von Stoßwellen in Excimerlasern  
1994, 153 Seiten, ISBN 3-519-06216-X

## Dausinger, Friedrich

Strahlwerkzeug Laser: Energieeinkopplung und Prozeßeffektivität  
1995, 143 Seiten, ISBN 3-519-06217-8

## Meiners, Eckhard

Abtragende Bearbeitung von Keramiken und Metallen mit gepulstem Nd:YAG-Laser als zwei stufiger Prozeß  
1995, 120 Seiten, ISBN 3-519-06222-4

## Beck, Markus

Modellierung des Lasertiefschweißens  
1996, 160 Seiten, ISBN 3-519-06218-6

## Breining, Klaus

Auslegung und Vermessung von Gasentladungsstrecken für CO<sub>2</sub>-Hochleistungslaser  
1996, 131 Seiten, ISBN 3-519-06219-4

## Griebisch, Jürgen

Grundlagenuntersuchungen zur Qualitätssiche rung beim gepulsten Lasertiefschweißen  
1996, 133 Seiten, ISBN 3-519-06220-8

## Krepulat, Walter

Aerodynamische Fenster für industrielle Hoch leistungslaser  
1996, 144 Seiten, ISBN 3-519-06221-6

## Xiao, Min

Vergleichende Untersuchungen zum Schneiden dünner Bleche mit CO<sub>2</sub>- und Nd:YAG-Lasern  
1996, 118 Seiten, ISBN 3-519-06223-2

## Glumann, Christiane

Verbesserte Prozeßsicherheit und Qualität durch Strahlkombination beim Laserschweißen  
1996, 143 Seiten, ISBN 3-519-06224-0

## Gross, Herbert

Propagation höhermodiger Laserstrahlung und deren Wechselwirkung mit optischen Systemen  
1996, 191 Seiten, ISBN 3-519-06225-9

## Rapp, Jürgen

Laserschweißeignung von Aluminiumwerkstoffen für Anwendungen im Leichtbau  
1996, 202 Seiten, ISBN 3-519-06226-7

- Wittig, Klaus**  
Theoretische Methoden und experimentelle Verfahren zur Charakterisierung von Hochleistungslaserstrahlung  
1996, 198 Seiten, ISBN 3-519-06227-5
- Grünenwald, Bernd**  
Verfahrensoptimierung und Schichtcharakterisierung beim einstufigen Cermet-Beschichten mittels CO<sub>2</sub>-Hochleistungslaser  
1996, 160 Seiten, ISBN 3-519-06229-1
- Lee, Jae-Hoon**  
Laserverfahren zur strukturierten Metallisierung  
1996, 154 Seiten, ISBN 3-519-06232-1
- Albinus, Uwe N. W.**  
Metallisches Beschichten mittels PLD-Verfahren  
1996, 144 Seiten, ISBN 3-519-06233-X
- Wiedmaier, Matthias**  
Konstruktive und verfahrenstechnische Entwicklungen zur Komplettbearbeitung in Drehzentren mit integrierten Laserverfahren  
1997, 129 Seiten, ISBN 3-519-06228-3
- Bloehs, Wolfgang**  
Laserstrahlhärtung mit angepaßten Strahlformungssystemen  
1997, 143 Seiten, ISBN 3-519-06230-5
- Bea, Martin**  
Adaptive Optik für die Materialbearbeitung mit CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung  
1997, 143 Seiten, ISBN 3-519-06231-3
- Stöhr, Michael**  
Beeinflussung der Lichtemission bei mikrokanalgekühlten Laserdioden  
1997, 147 Seiten, ISBN 3-519-06234-8
- Plaß, Wilfried**  
Zerstörtschwellen und Degradation von CO<sub>2</sub>-Laseroptiken  
1998, 158 Seiten, ISBN 3-519-06235-6
- Schaller, Markus K. R.**  
Lasergestützte Abscheidung dünner Edelmetallschichten zum Heißgaskorrosionsschutz für Molybdän  
1998, 163 Seiten, ISBN 3-519-06236-4
- Hack, Rüdiger**  
System- und verfahrenstechnischer Vergleich von Nd:YAG- und CO<sub>2</sub>-Lasern im Leistungsbereich bis 5 kW  
1998, 165 Seiten, ISBN 3-519-06237-2
- Krupka, René**  
Photothermische Charakterisierung optischer Komponenten für Hochleistungslaser  
1998, 139 Seiten, ISBN 3-519-06238-0
- Pfeiffer, Wolfgang**  
Fluidodynamische und elektrophysikalisch optimierte Entladungsstrecken für CO<sub>2</sub>-Hochleistungslaser  
1998, 152 Seiten, ISBN 3-519-06239-9
- Volz, Robert**  
Optimierte Beschichten von Gußeisen-, Aluminium- und Kupfergrundwerkstoffen mit Lasern  
1998, 133 Seiten, ISBN 3-519-06240-2
- Bartelt-Berger, Lars**  
Lasersystem aus kohärent gekoppelten Grundmode-Diodenlasern  
1999, 135 Seiten, ISBN 3-519-06241-0
- Müller-Hummel, Peter**  
Entwicklung einer Inprozeßtemperaturmeßvorrichtung zur Optimierung der laserunterstützten Zerspanung  
1999, 139 Seiten, ISBN 3-519-06242-9
- Rohde, Hansjörg**  
Qualitätsbestimmende Prozeßparameter beim Einzelpulsbohren mit einem Nd:YAG-Slablaser  
1999, 171 Seiten, ISBN 3-519-06243-7
- Huonker, Martin**  
Strahlführung in CO<sub>2</sub>-Hochleistungslasersystemen zur Materialbearbeitung  
1999, 121 Seiten, ISBN 3-519-06244-5
- Callies, Gert**  
Modellierung von qualitäts- und effektivitätsbestimmenden Mechanismen beim Laserabtragen  
1999, 119 Seiten, ISBN 3-519-06245-3
- Schubert, Michael E.**  
Leistungsskalierbares Lasersystem aus fasergekoppelten Singlemode-Diodenlasern  
1999, 105 Seiten, ISBN 3-519-06246-1
- Kern, Markus**  
Gas- und magnetofluiddynamische Maßnahmen zur Beeinflussung der Nahtqualität beim Laserstrahlschweißen  
1999, 132 Seiten, ISBN 3-519-06247-X
- Raiber, Armin**  
Grundlagen und Prozeßtechnik für das Lasermikrobohren technischer Keramiken  
1999, 135 Seiten, ISBN 3-519-06248-8

# Laser in der Materialbearbeitung

Forschungsberichte des IFSW (Institut für Strahlwerkzeuge)

Herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. habil. Helmut Hügel, Universität Stuttgart

Forschungsberichte des IFSW ab 2000 erschienen im Herbert Utz Verlag, München

## Schittenhelm, Henrik

Diagnostik des laserinduzierten Plasmas  
beim Abtragen und Schweißen  
2000, 141 Seiten, ISBN 3-89675-712-1

## Stewen, Christian

Scheibenlaser mit Kilowatt-Dauerstrichleistung  
2000, 145 Seiten, ISBN 3-89675-763-6

## Schmitz, Christian

Gaselektronische Analysemethoden zur Optimierung von Lasergesamtladungen  
2000, 107 Seiten, ISBN 3-89675-773-3

## Karszewski, Martin

Scheibenlaser höchster Strahlqualität  
2000, 132 Seiten, ISBN 3-89675-785-7

## Chang, Chin-Lung

Berechnung der Schmelzbadgeometrie beim Laserstrahlschweißen mit Mehrfokustechnik  
2000, 141 Seiten, ISBN 3-89675-825-X

## Haag, Matthias

Systemtechnische Optimierungen der Strahlqualität von Hochleistungsdiodenlasern  
2000, 166 Seiten, ISBN 3-89675-840-3

## Bahnmüller, Jochen

Charakterisierung gepulster Laserstrahlung zur Qualitätssteigerung beim Laserbohren  
2000, 138 Seiten, ISBN 3-89675-851-9

## Schellhorn, Martin Carl Johannes

CO-Hochleistungslaser: Charakteristika und Einsatzmöglichkeiten beim Schweißen  
2000, 142 Seiten, ISBN 3-89675-849-7

## Angstenberger, Birgit

Fliehkraftunterstütztes Laserbeschichten  
2000, 153 Seiten, ISBN 3-89675-861-6

## Bachhofer, Andreas

Schneiden und Schweißen von Aluminiumwerkstoffen mit Festkörperlasern für den Karosseriebau  
2001, 194 Seiten, ISBN 3-89675-881-0

## Breitschwerdt, Sven

Qualitätssicherung beim Laserstrahlschweißen  
2001, 150 Seiten, ISBN 3-8316-0032-5

## Mochmann, Gunter

Laserkristallisation von Siliziumschichten auf Glas- und Kunststoffsubstraten für die Herstellung verbesserter Dünnschichttransistoren  
2001, 170 Seiten, ISBN 3-89675-811-X

## Herrmann, Andreas

Fertigungsorientierte Verfahrensentwicklung des Weichlötzens mit Diodenlasern  
2002, 133 Seiten, ISBN 3-8316-0086-4

## Mästle, Rüdiger

Bestimmung der Propagationseigenschaften von Laserstrahlung  
2002, 147 Seiten, ISBN 3-8316-0113-5

## Voß, Andreas

Der Scheibenlaser: Theoretische Grundlagen des Dauerstrichbetriebs und erste experimentelle Ergebnisse anhand von Yb:YAG  
2002, 195 Seiten, ISBN 3-8316-0121-6

## Müller, Matthias G.

Prozessüberwachung beim Laserstrahlschweißen durch Auswertung der reflektierten Leistung  
2002, 122 Seiten, ISBN 3-8316-0144-5

## Abeln, Tobias

Grundlagen und Verfahrenstechnik des reaktiven Laserpräzisionsabtragens von Stahl  
2002, 138 Seiten, ISBN 3-8316-0137-2

## Erhard, Steffen

Pumpoptiken und Resonatoren für den Scheibenlaser  
2002, 184 Seiten, ISBN 3-8316-0173-9

## Contag, Karsten

Modellierung und numerische Auslegung des Yb:YAG-Scheibenlasers  
2002, 155 Seiten, ISBN 3-8316-0172-0

## Krastel, Klaus

Konzepte und Konstruktionen zur laserintegrierten Komplettbearbeitung in Werkzeugmaschinen  
2002, 140 Seiten, ISBN 3-8316-0176-3

## Staud, Jürgen

Sensitive Werkzeuge für ein neues Montagekonzept in der Mikrosystemtechnik  
2002, 122 Seiten, ISBN 3-8316-0175-5

## Schinzel, Cornelius M.

Nd:YAG-Laserstrahlschweißen von Aluminiumwerkstoffen für Anwendungen im Automobilbau  
2002, 177 Seiten, ISBN 3-8316-0201-8

## Sebastian, Michael

Grundlagenuntersuchungen zur Laser-Plasma-CVD Synthese von Diamant und amorphen Kohlenstoffen  
2002, 153 Seiten, ISBN 3-8316-0200-X

- Lücke, Bernd**  
Kohärente Kopplung von Vertikalemitter-Arrays  
2003, 120 Seiten, ISBN 3-8316-0224-7
- Hohenberger, Bernd**  
Laserstrahlschweißen mit Nd:YAG-Doppelfokus-technik – Steigerung von Prozeßsicherheit, Fle-xibilität und verfügbarer Strahlleistung  
2003, 128 Seiten, ISBN 3-8316-0223-9
- Jasper, Knut**  
Neue Konzepte der Laserstrahlformung und -führung für die Mikrotechnik  
2003, 152 Seiten, ISBN 3-8316-0205-0
- Heimerdinger, Christoph**  
Laserstrahlschweißen von Aluminiumlegierungen für die Luftfahrt  
2003, 112 Seiten, ISBN 3-8316-0256-5
- Christoph Fleig**  
Evaluierung eines Messverfahrens zur genauen Bestimmung des Reflexionsgrades optischer Komponenten  
2003, 150 Seiten, ISBN 3-8316-0274-3
- Joachim Radtke**  
Herstellung von Präzisionsdurchbrüchen in keramischen Werkstoffen mittels repetierender Laserbearbeitung  
2003, 150 Seiten, ISBN 3-8316-0285-9
- Michael Brandner**  
Steigerung der Prozesseffizienz beim Löten und Kleben mit Hochleistungsdiodenlasern  
2003, 195 Seiten, ISBN 3-8316-0288-3
- Reinhard Winkler**  
Porenbildung beim Laserstrahlschweissen von Aluminium-Druckguss  
2004, 153 Seiten, ISBN 3-8316-0313-8
- Helmut Kindler**  
Optische und gerätetechnische Entwicklungen zum Laserstrahlspritzen  
2004, 117 Seiten, ISBN 3-8316-0315-4
- Andreas Ruf**  
Modellierung des Perkussionsbohrens von Metal-len mit kurz- und ultrakurzgepulsten Lasern  
2004, 140 Seiten, ISBN 3-8316-0372-3
- Guido Hergenhan**  
Kohärente Kopplung von Vertikalemittern – Sys-temkonzept und experimentelle Verifizierung  
2004, 115 Seiten, ISBN 3-8316-0376-6
- Klaus Goth**  
Schweißen von Mischverbindungen aus Alumini-umguß- und Knetlegierungen mit CO<sub>2</sub>-Laser unter besonderer Berücksichtigung der Nahtart  
2004, 143 Seiten, ISBN 3-8316-0427-4
- Armin Strauch**  
Effiziente Lösung des inversen Problems beim Laserstrahlschweißen durch Simulation und Experiment  
2004, 169 Seiten, ISBN 3-8316-0425-8
- Thomas Wawra**  
Verfahrensstrategien für Bohrungen hoher Präzi-sion mittels Laserstrahlung  
2004, 162 Seiten, ISBN 3-8316-0453-3
- Michael Honer**  
Prozesssicherungsmaßnahmen beim Bohren metallischer Werkstoffe mittels Laserstrahlung  
2004, 113 Seiten, ISBN 3-8316-0441-x
- Thomas Herzinger**  
Prozessüberwachung beim Laserbohren von Turbinenschaufeln  
2004, 143 Seiten, ISBN 3-8316-0443-6
- Reiner Heigl**  
Herstellung von Randschichten auf Aluminium-gusslegierungen mittels Laserstrahlung  
2004, 173 Seiten, ISBN 3-8316-0460-6

# Laser in der Materialbearbeitung

Forschungsberichte des IFSW (Institut für Strahlwerkzeuge)

Herausgegeben von

Prof. Dr. phil. nat. Thomas Graf, Universität Stuttgart

Forschungsberichte des IFSW ab 2005 erschienen im Herbert Utz Verlag, München

## Thomas Fuhrich

Marangoni-effekt beim Laserstrahltiefschweißen von Stahl  
2005, 163 Seiten, ISBN 3-8316-0493-2

## Daniel Müller

Pulsenergiestabilität bei regenerativen Kurzpuls-verstärkern im Scheibenlaserdesign  
2005, 172 Seiten, ISBN 3-8316-0508-4

## Jiancun Gao

Neodym-dotierte Quasi-Drei-Niveau-Scheiben-laser: Hohe Ausgangsleistung und Frequenzver-dopplung  
2005, 148 Seiten, ISBN 3-8316-0521-1

## Wolfgang Gref

Laserstrahlschweißen von Aluminiumwerkstoffen mit der Fokusmatrixtechnik  
2005, 136 Seiten, ISBN 3-8316-0537-8

## Michael Weikert

Oberflächenstrukturieren mit ultrakurzen Laser-pulsen  
2005, 116 Seiten, ISBN 3-8316-0573-4

## Julian Sigel

Lasergenerieren metallischer Bauteile mit variab-lem Laserstrahldurchmesser in modularen Ferti-gungssystemen  
2006, 132 Seiten, ISBN 3-8316-0572-6

## Andreas Ruß

Schweißen mit dem Scheibenlaser-Potentiale der guten Fokussierbarkeit  
2006, 142 Seiten, ISBN 3-8316-0580-7

## Gabriele Seibold

Absorption technischer Oberflächen in der La-sermaterialbearbeitung  
2006, 156 Seiten, ISBN 3-8316-0618-8

## Dirk Lindenau

Magnetisch beeinflusstes Laserstrahlschweißen  
2007, 180 Seiten, ISBN 978-3-8316-0687-0

## Jens Walter

Gesetzmäßigkeiten beim Lasergenerieren als Basis für die Prozesssteuerung und -regelung  
2008, 140 Seiten, ISBN 978-3-8316-0770-9

## Heiko Ridderbusch

Longitudinal angeregte passiv gütegeschaltete Laserzündkerze  
2008, 175 Seiten, ISBN 978-3-8316-0840-9

## Markus Leimser

Strömungsinduzierte Einflüsse auf die Naht-eigenschaften beim Laserstrahlschweißen von Aluminiumwerkstoffen  
2009, 150 Seiten, ISBN 978-3-8316-0854-6

## Mikhail Larionov

Kontaktierung und Charakterisierung von Kristal-len für Scheibenlaser  
2009, 186 Seiten, ISBN 978-3-8316-0855-3

## Jürgen Müller-Borhanian

Kamerabasierte In-Prozessüberwachung beim Laserstrahlschweißen  
2009, 162 Seiten, ISBN 978-3-8316-0890-4

## Andreas Letsch

Charakterisierung allgemein astigmatischer La-serstrahlung mit der Methode der zweiten Mo-mente  
2009, 176 Seiten, ISBN 978-3-8316-0896-6

## Thomas Kübler

Modellierung und Simulation des Halbleiterschei-benlasers  
2009, 152 Seiten, ISBN 978-3-8316-0918-5

## Günter Ambrosy

Nutzung elektromagnetischer Volumenkräfte beim Laserstrahlschweißen  
2009, 170 Seiten, ISBN 978-3-8316-0925-3

## Agnes Ott

Oberflächenmodifikation von Aluminiumlegierun-gen mit Laserstrahlung: Prozessverständnis und Schichtcharakterisierung  
2010, 226 Seiten, ISBN 978-3-8316-0959-8

## Detlef Breitling

Gasphaseneinflüsse beim Abtragen und Bohren mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung  
2010, 200 Seiten, ISBN 978-3-8316-0960-4

## Dmitrij Walter

Online-Qualitätssicherung beim Bohren mittels ultrakurz gepulster Laserstrahlung  
2010, 156 Seiten, ISBN 978-3-8316-0968-0

## Jan-Philipp Weerpals

Nutzen und Grenzen guter Fokussierbarkeit beim Laserstrahlschweißen  
2010, 154 Seiten, ISBN 978-3-8316-0995-6

## Angelika Beyert

Yb-KYW regenerativer Verstärker für ultrakurze Pulse  
2010, 166 Seiten, ISBN 978-3-8316-4002-7

**Christian Stolzenburg**

Hochrepetierende Kurzpuls-Scheibenlaser im infraroten und grünen Spektralbereich  
2011, 184 Seiten, ISBN 978-3-8316-4041-6

**Sven-Simon Beyert**

Quantenfilm-Pumpen zur Leistungsskalierung von Halbleiter-Scheibenlasern  
2011, 130 Seiten, ISBN 978-3-8316-4051-5

**Sonja Kittel**

Verzugsarmes Laserstrahlschweißen an axial-symmetrischen Bauteilen  
2011, 162 Seiten, ISBN 978-3-8316-4088-1

**Andrey Andreev**

Schweißen mit dem Scheibenlaser im Getriebebau – Prozessmerkmale und Anlagenkonzepte  
2011, 140 Seiten, ISBN 978-3-8316-4103-1

**Christian Föhl**

Einsatz ultrakurz gepulster Laserstrahlung zum Präzisionsbohren von Metallen  
2011, 156 Seiten, ISBN 978-3-8316-4120-8

**Andreas Josef Birnesser**

Prozessregelung beim Laserstrahlschweißen  
2011, 150 Seiten, ISBN 978-3-8316-4133-8

**Christoph Neugebauer**

Thermisch aktive optische Bauelemente für den resonatorinternen Einsatz beim Scheibenlaser  
2012, 220 Seiten, ISBN 978-3-8316-4178-9

**Andreas Dauner**

Fluidmechanische Maßnahmen zur Reduzierung von Schmelzablagerungen beim Hochgeschwindigkeitslaserbohren  
2012, 150 Seiten, ISBN 978-3-8316-4194-9

**Axel Heß**

Vorteile und Herausforderungen beim Laserstrahlschweißen mit Strahlquellen höchster Fokussierbarkeit  
2012, 164 Seiten, ISBN 978-3-8316-4198-7

**Christian Gehrke**

Überwachung der Struktureigenschaften beim Oberflächenstrukturieren mit ultrakurzen Laserpulsen  
2013, 164 Seiten, ISBN 978-3-8316-4271-7

**David Schindhelm**

In-Prozess Qualitätssicherung für das Laserstrahlschneiden von Metallen  
2013, 150 Seiten, ISBN 978-3-8316-4345-5

**Tilman Froschmeier-Hanss**

Festigkeitsverhalten laserstrahlgeschweißter belastungsangepasster Stahlwerkstoffverbindungen  
2014, 200 Seiten, ISBN 978-3-8316-4347-9

**Moritz Vogel**

Speciality Fibers for High Brightness Laser Beam Delivery  
2014, 187 Seiten, ISBN 978-3-8316-4382-0

**Andreas Michalowski**

Untersuchungen zur Mikrobearbeitung von Stahl mit ultrakurzen Laserpulsen  
2014, 176 Seiten, ISBN 978-3-8316-4424-7

**Georg Stöpler**

Untersuchung eines OPOs im mittleren Infrarot im Hinblick auf Anwendungen für minimalinvasive Chirurgie  
2015, 144 Seiten, ISBN 978-3-8316-4437-7

**Patrick Mucha**

Qualitäts- und produktivitätsbeeinflussende Mechanismen beim Laserschneiden von CF und CFK  
2015, 120 Seiten, ISBN 978-3-8316-4516-9

**Claus-Dieter Reiniger**

Fluidodynamische Effekte beim Remote-Laserstrahlschweißen von Blechen mit Fügspalt  
2015, 188 Seiten, ISBN 978-3-8316-4528-2

**Andreas Leitz**

Laserstrahlschweißen von Kupfer- und Aluminiumwerkstoffen in Mischverbindung  
2016, 172 Seiten, ISBN 978-3-8316-4549-7

**Peter Stritt**

Prozessstrategien zur Vermeidung von Heißrissen beim Remote-Laserstrahlschweißen von AlMgSi 6016  
2016, 194 Seiten, ISBN 978-3-8316-4555-8

**Katrin Sarah Wentsch**

Analyse Ytterbium-dotierter Materialien für den Einsatz in ultrakurz-gepulsten Scheibenlasersystemen  
2016, 162 Seiten, ISBN 978-3-8316-4578-7

**Jan-Philipp Negele**

Scheibenlaser-Multipassverstärker für ultrakurze Laserpulse mit Ausgangsleistungen im kW-Bereich  
2017, 142 Seiten, ISBN 978-3-8316-4632-6

**Christian Freitag**

Energietransportmechanismen bei der gepulsten Laserbearbeitung Carbonfaser verstärkter Kunststoffe  
2017, 152 Seiten, ISBN 978-3-8316-4638-8

**Andreas Popp**

Faserlaser und Faserlaserverstärker als Brillanzkonverter für Scheibenlaserstrahlen  
2017, 242 Seiten, ISBN 978-3-8316-4643-2

**Karin Heller**

Analytische Temperaturfeldbeschreibung beim Laserstrahlschweißen für thermographische Prozessbeobachtung  
2017, 130 Seiten, ISBN 978-3-8316-4654-8

**Stefan Piehler**

Resonatorinterne Kompensation thermisch induzierter Wellenfrontstörungen in hochbrillanten Scheibenlasern  
2017, 148 Seiten, ISBN 978-3-8316-4690-6

**Felix Abt**

Bildbasierte Charakterisierung und Regelung von Laserschweißprozessen  
2017, 232 Seiten, ISBN 978-3-8316-4691-3

**Volker Rominger**

Untersuchungen der Prozessvorgänge bei Einschweißungen in Baustahl mit Lasern hoher Brilanz  
2017, 186 Seiten, ISBN 978-3-8316-4692-0

**Thomas Rataj**

Hochleistungstaugliche faserintegrierte Strahlweichen  
2018, 142 Seiten, ISBN 978-3-8316-4733-0

**Michael Diez**

Pulsformung zur schädigungsarmen Laserbearbeitung von Silizium  
2018, 194 Seiten, ISBN 978-3-8316-4737-8

**Andreas Heider**

Erweitern der Prozessgrenzen beim Laserstrahlschweißen von Kupfer mit Einschweißtiefen zwischen 1 mm und 10 mm  
2018, 156 Seiten, ISBN 978-3-8316-4738-5

**Marcel Schäfer**

Energetische Beeinflussung von Schmelzeffluß und Heißrissbildung beim Laserstrahlschweißen von Vergütungsstahl  
2018, 146 Seiten, ISBN 978-3-8316-4742-2

## Laser in der Materialbearbeitung

### Forschungsberichte des IFSW (Institut für Strahlwerkzeuge)

Herausgegeben von

Prof. Dr. phil. nat. Thomas Graf, Universität Stuttgart

Forschungsberichte des IFSW ab 2019 erschienen im utzverlag, München

**Tom Dietrich**

Gitterwellenleiterstrukturen zur Strahlformung in Hochleistungsscheibenlasern  
2019, 154 Seiten, ISBN 978-3-8316-4785-9

**Martin Rumpel**

Applications of Grating Waveguide Structures in Solid-State Lasers  
2019, 112 Seiten, ISBN 978-3-8316-4801-6

**Michael Eckerle**

Generation and amplification of ultrashort pulsed high-power cylindrical vector beams  
2019, 112 Seiten, ISBN 978-3-8316-4804-7

**Martin Stubenvoll**

Messung und Kompensation thermisch induzierter Wellenfrontdeformationen in optischen Elementen  
2019, 118 Seiten, ISBN 978-3-8316-4819-1

**Christian Hagenlocher**

Die Kornstruktur und der Heißrisswiderstand von Laserstrahlschweißnähten in Aluminiumlegierungen  
2020, 150 Seiten, ISBN 978-3-8316-4864-1

**Florian Fetzner**

Analysen der Geometrie und Stabilität der Kapillare beim Laserstrahltiefschweißen mittels reduzierter Modelle.  
2020, 180 Seiten, ISBN 978-3-8316-4874-0

**Michael Jarwitz**

Laserstrahlschweißen von Metallen mit unterschiedlichen thermophysikalischen Eigenschaften.  
2020, 154 Seiten, ISBN 978-3-8316-4882-5

**Christian Röhrrer**

Flexible Führung hochbrillanter Laserstrahlen mit optischen Fasern  
2020, 130 Seiten, ISBN 978-3-8316-4888-7

**Martin Sommer**

Laserstrahlschweißen der Aluminiumlegierung AlMgSi mittels Strahloszillation  
2021, 110 Seiten, ISBN 978-3-8316-4898-6

**Birgit Weichert**

Experimental Investigations on Power Scaling of High-Brightness cw Ytterbium-Doped Thin-Disk Lasers.  
2021, 166 Seiten, ISBN 978-3-8316-4914-3

**Sebastian Faas**

Oberflächenfunktionalisierung von Stahl mit UKP-Lasern mit mehreren Hundert Watt mittlerer Leistung.  
2021, 95 Seiten, ISBN 978-3-8316-4935-8

**Daniel Weller**

Erhöhung der Prozesssicherheit beim Remote-Laserstrahlfügen von Aluminiumwerkstoffen.  
2021, 130 Seiten, ISBN 978-3-8316-4940-2

**Sebastian Hecker**

Verfahren zur Inline-Prozessüberwachung für das Schweißen von Glas mit Ultrakurzpulslasern  
2022, 132 Seiten, ISBN 978-3-8316-4955-6

**Frieder Beirow**

Leistungsskalierung ultrakurz gepulster radial polarisierter Laserstrahlung.  
2022, 150 Seiten, ISBN 978-3-8316-4970-9

**Meiko Boley**

Bestimmung und Regelung der Kapillar- und Nahttiefe beim Laserstrahlschweißen.  
2022, 154 Seiten, ISBN 978-3-8316-4986-0

**Christoph Röcker**

Flexible Verstärkung und Frequenzkonversion ultrakurzer Laserpulse mit Ausgangsleistungen im kW-Bereich  
2022, 182 Seiten, ISBN 978-3-8316-4987-7

**Oliver Bocksrocker**

Mechanismen der Entstehung von Schnittunregelmäßigkeiten beim Laserschneiden mit 1 µm Wellenlänge  
2023, 128 Seiten, ISBN 978-3-8316-4999-0

**Daniel Förster**

Energieeinkopplung und Energieumwandlungsprozesse bei der Bearbeitung von Metallen mit ultrakurzen Laserpulsen  
2023, 150 Seiten, ISBN 978-3-8316-5009-5

**Daniel Holder**

Laser micromachining with target depth  
2023, 194 Seiten, ISBN 978-3-8316-5010-1

**Florian Bienert**

Periodenchirp optischer Gitter  
2024, 222 Seiten, ISBN 978-3-8316-5061-3

**Jannik Lind**

Einfluss von Strahlformung auf Absorption, Fugenquerschnitt und Produktivität beim Laser-schneiden  
2024, 146 Seiten, ISBN 978-3-8316-5062-0

**Jan-Hinnerk Wolter**

Scheibenlaser mit beidseitiger Kühlung des La-serkristalls  
2025, 194 Seiten, ISBN 978-3-38316-5067-5

**Benjamin Dannecker**

Untersuchung von Scheibenlasern zur Erzeu-gung von Pulsen mit einer Dauer von weniger als 500 fs  
2025, 146 Seiten, ISBN 978-3-8316-5080-4