

LASER-LABORATORIUM GÖTTINGEN E.V.

Licht als Werkzeug zu nutzen ist eine der wichtigsten technologischen Herausforderungen der Zukunft. Laser repräsentieren die anspruchsvollsten und vielfältigsten Lichtquellen. Daher stehen Laserforschung und Laseranwendung im Mittelpunkt der Agenda der optischen Technologien des 21. Jahrhunderts.



Laser-Laborium Göttingen e.V.
Hans-Adolf-Krebs-Weg 1
37077 Göttingen

Tel.: +49 (0)551/5035- 0
Fax: +49 (0)551/5035-99

E-Mail: info@llg-ev.de
www.llg-ev.de

Impressum

Herausgeber
Laser-Laboratorium Göttingen e.V. (LLG)

Redaktion: apl. Prof. Dr. Alexander Egner (verantwortlich)

Verfasser: Institutsdirektor apl. Prof. Dr. Alexander Egner,
Tatjana Kasten, Verwaltung, zuständige Abteilungen

Koordination, Gestaltung und Layout: Tatjana Kasten

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

© 2019. Alle Rechte vorbehalten.

Bildquellen:
Laser-Laboratorium Göttingen e.V.

Inhaltsverzeichnis

Contents

Inhalt		Contents	
Vorwort	4	Preface	4
Leitbild	8	Mission Statement	8
Institutsstruktur	10	Institute Structure	10
Das Institut in Zahlen	12	Statistics of the Institute	12
Die Abteilungen	15	The Departments	15
Optische Nanoskopie	17	Optical Nanoscopy	17
Kurze Pulse / Nanostrukturen	33	Short Pulses / Nanostructures	33
Optik / Kurze Wellenlängen	53	Optics / Short Wavelengths	53
Photonische Sensorik	67	Photonic Sensor Technologies	67
Projekte	78	Projects	78
Publikationen	81	Publications	81
Konferenzbeiträge	83	Conference Contributions	83
Abschlussarbeiten	88	Final Thesis	88
Ausgewählte Kooperationspartner	89	Selected Cooperation Partners	89
ZUSE-Gemeinschaft	91	ZUSE-Gemeinschaft	91
Messen und Veranstaltungen	92	Exhibitions and Events	92
Neuigkeiten	100	News	100
Pressemitteilungen	104	Press releases	104

Vorwort

Preface

Liebe Leserinnen und Leser,

als hervorragendes Institut mit großer nationaler und internationaler Ausstrahlung hat Björn Thümler, der niedersächsische Minister für Wissenschaft und Kultur, im August 2019 das Laser-Laboratorium Göttingen gewürdigt. Bei einem Besuch sicherte er dem LLG für seine exzellente Arbeit von 2020 an zehn Prozent mehr Grundförderung zu. Sie steigt damit um 175.000 Euro auf knapp 1,9 Millionen Euro. Das Land sichert mit dieser Entscheidung langfristig die Zukunft unserer außeruniversitären Forschungseinrichtung, von der Niedersachsen in vielfältiger Weise profitiert. Wir haben uns in den vergangenen über 30 Jahren als Ansprechpartner des Mittelstands für Fragestellungen auf zahlreichen Gebieten der optischen Technologien etabliert. Mit unserem anwendungsorientierten Ansatz helfen wir, die weltweit führende Rolle des Wissenschaftsstandorts Göttingen auf dem Gebiet der Methodenentwicklung für Forschung und Anwendungen im Bereich (Bio-) Pharmazie und Diagnostik zur Stärkung des Innovations- und Wirtschaftsstandorts Niedersachsen zu nutzen. Das LLG leistet durch seine aktive Ausgründungspolitik, die Auslizenzierung seiner Forschungsergebnisse sowie durch sein Technologiezentrum, das innovativen Unternehmen die Möglichkeit bietet, sich am Markt zu etablieren, einen bedeutenden Beitrag zur wirtschaftlichen Entwicklung der Region.

Würdigung erfuhren wir 2019 auch von Seiten des Bundes. Ein vom LLG koordinierter Verbund von Forschungsinstituten und Unternehmen gehört zu den 16 Finalisten im Ideenwettbewerb der Zukunftscluster-Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Unser Vorschlag eines Tools4Life-Clusters hat sich unter 137 Bewerbungen durchgesetzt. Um die Auswahl potentieller Wirkstoffe für neue Medikamente zu beschleunigen, wollen wir der pharmazeutischen Industrie Werkzeuge zur besseren Erfassung der molekularen Mechanismen von Krankheiten zur Verfügung stellen: hochauflösende Mikroskope, automatisierte bildgebende Verfahren sowie Prozessreaktoren.

Unsere Teams erzielten im vergangenen Jahr eine Reihe von wissenschaftlichen Durchbrüchen. So gelang es LLG-Forschenden, die Bildaufnahme in der Stimulated Emission Depletion (STED)-Mikroskopie um nahezu eine Größenordnung zu beschleunigen. Das ermöglicht es, sehr schnell ablaufende molekulare Prozesse in Echtzeit zu verfolgen. Ein bahnbrechendes Ergebnis erreichten wir bei Laserpulsen mit wenigen optischen Zyklen, wo wir die 300 W Marke überschritten – ein Weltrekord. Das lässt sich in der Industrie zur parallelisierten Materialbearbeitung nutzen.

Das LLG hat sich auch im Jahr 2019 an zahlreichen Treffen von Forschungsnetzwerken sowie bei Informationsveranstaltungen für Entwickler aus Forschung und Industrie engagiert. Beim Forum Mikroskopietrends, zu dessen Ausrichtern wir zählten, stellte unser Institut unter anderem innovative Ansätze in der Mikroskopie vor. Im Netzwerk „Modulare Ultrakurzpuls-Laser-Technologie“ des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) wollen wir den Einsatz der Ultrakurzpulslasertechnologie als Werkzeug in der industriellen Fertigung fördern. Dort geht es insbesondere um die Verwendung neuer Komponenten für die Strahlformung und die Strahlführung sowie um innovative Sensorik. Im ZIM-Netzwerk „Produkt-



Apl. Prof. Dr.
Alexander Egner
Institutsdirektor

Vorwort

Preface

Dear Readers,

In August 2019, Björn Thümler Minister of Science and Culture in Lower Saxony praised the Laser-Laboratorium Göttingen as an outstanding institute with influence on a national and international level. During his visit, he assured the LLG ten percent more funding for its excellent work beginning in 2020, thereby increasing funding by 175,000 euros to nearly 1.9 million euros. With its decision, the state has ensured the long-term future of our nonuniversity research facility, from which Lower Saxony benefits in a myriad of ways. For more than 30 years now, we have been working to establish ourselves as a partner to whom small and medium-sized businesses could turn with questions in a number of areas of the field of optical technologies. With our application-oriented approach, we help use Göttingen's worldwide-leading scientific role in the area of developing research and application methods in the fields of (bio-) pharmaceuticals and diagnostics to strengthen Lower Saxony's position as a scientific leader. Thanks to its active spin-off policy, the licensing of its research results, and its technology center, which offers innovative companies the opportunity to establish themselves on the market, the LLG makes an important contribution to the economic development of the region.

We were honored by the federal government in 2019. A network of research institutes and companies coordinated by LLG is among the 16 finalists in the idea competition of the future cluster initiative organized by the Federal Ministry of Education and Research. Our recommendation for a Tools4Life cluster was chosen from among 137 applications. In order to accelerate the selection of potential active ingredients for new medications, we hope to provide the pharmaceuticals industry with tools to better record the molecular mechanisms of diseases: high-resolution microscopes, automated imaging processes, and process reactors.

Last year, our teams achieved a series of scientific breakthroughs. LLG researchers were able to accelerate imaging in stimulated emission depletion (STED) microscopy by nearly an entire degree of magnitude, which enables the real-time tracing of extremely fast-occurring molecular processes. We also achieved a groundbreaking result in laser pulses with low numbers of optic cycles, where we exceeded the 300 W mark – a world record. This has applications in the industrial sector for simultaneous material processing.

In 2019, the LLG was also present at numerous meetings of research networks and informational events for developers from the research and industrial sectors. As one of the organizers of the event, our institute presented innovative approaches in microscopy, among other topics, at the 2019 forum for trends in microscopy. As part of the network for „modular ultrashort-pulse laser technology“ of the Central Innovation Programme for Small and Medium-Sized Enterprises (ZIM), we hope to promote the use of ultrashort-pulse laser technology as a tool in industrial manufacturing. The primary focus in this regard is on the use of new components for beam forming and beamlines as well as innovative sensors. In the ZIM network for „product and process safety by means of spectroscopic analysis“, we deal with the

Vorwort

Preface

und Prozesssicherheit mittels spektroskopischer Analytik“ befassen wir uns mit der Produktqualität. Das LLG ist zudem im Netzwerk „Messtechnik und Diagnostik in der Intensivmedizin“ aktiv.

Bei der Laser World of Photonics, der Weltleitmesse für Komponenten, Systeme und Anwendungen der Photonik in München, zeigte unser Institut, wie sich Holografien auf Glas herstellen, wie sich das Ausbreitungsverhalten von Laserstrahlung vorhersagen und wie mikroskopische Aufnahmen mit einer Auflösung von nur wenigen zehn Nanometern machen lassen. Im Januar 2019 haben wir an der „Nacht des Wissens“ teilgenommen, die die Universität und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen zum vierten Mal für eine breite Öffentlichkeit ausrichteten. Rund 2500 Interessierte besuchten das LLG. Unsere Forschenden zeigten in ihren Laboren, wie sich die Patientensicherheit auf Intensivstationen mit optischen Methoden verbessern lässt, Vorgänge in lebenden Zellen beobachtet werden können oder schillernde Markierungen gegen Produktpiraterie hergestellt werden. Mit drei Experimentierstationen nahmen wir an der Ideen Expo 2019 in Hannover teil, die junge Menschen für technische und naturwissenschaftliche Zusammenhänge begeistert.

Auch 2019 konnten wir 70 Prozent des Betriebshaushaltes durch Drittmittel erwirtschaften. Die direkten Auftragseinnahmen aus der Industrie trugen hierzu mit rund 25 Prozent bei und lagen damit weiterhin auf dem hohen Niveau des Vorjahrs. Dieses hervorragende Ergebnis verdanken wir vor allem dem Engagement unserer hochqualifizierten Mitarbeiter. Ihnen gilt mein besonderer Dank.

Im Jahr 2020 stehen wir alle, nicht zuletzt wegen der Auswirkungen des Coronavirus, vor großen Herausforderungen. Chancen zur strategischen Weiterentwicklung sollten daher gerade aktuell verstärkt genutzt werden. Ich würde mich freuen, wenn wir Sie im Rahmen innovativer F&E Projekte hierbei fachlich unterstützen könnten.

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre

Alexander Eigner

Vorwort

Preface

optical technologies used in monitoring manufacturing processes and product quality. Additionally, the LLG actively participates in the network for „measurement technology and diagnostics in intensive medicine“.

At the Laser World of Photonics – the world’s leading trade fair for components, systems, and applications of photonics in Munich – our institute showed how holograms are produced on glass, how the propagation behavior of laser radiation can be predicted, and how microscopic images can be made with a resolution of only tens of nanometers. In January 2019, we took part in the Nacht des Wissens (“Night of Knowledge”) event organized for a wide audience for the fourth time by the university and nonuniversity research institutes. Around 2,500 interested people attended and visited the LLG. Our researchers presented their laboratories, how patient safety in intensive-care units can be improved using optical methods, how processes in living cells can be observed, and how iridescent markings to prevent product piracy are produced. With three experimental stations, we took part in the IdeenExpo 2019 event in Hannover, where young people can experience the excitement of correlations in technology and the natural sciences.

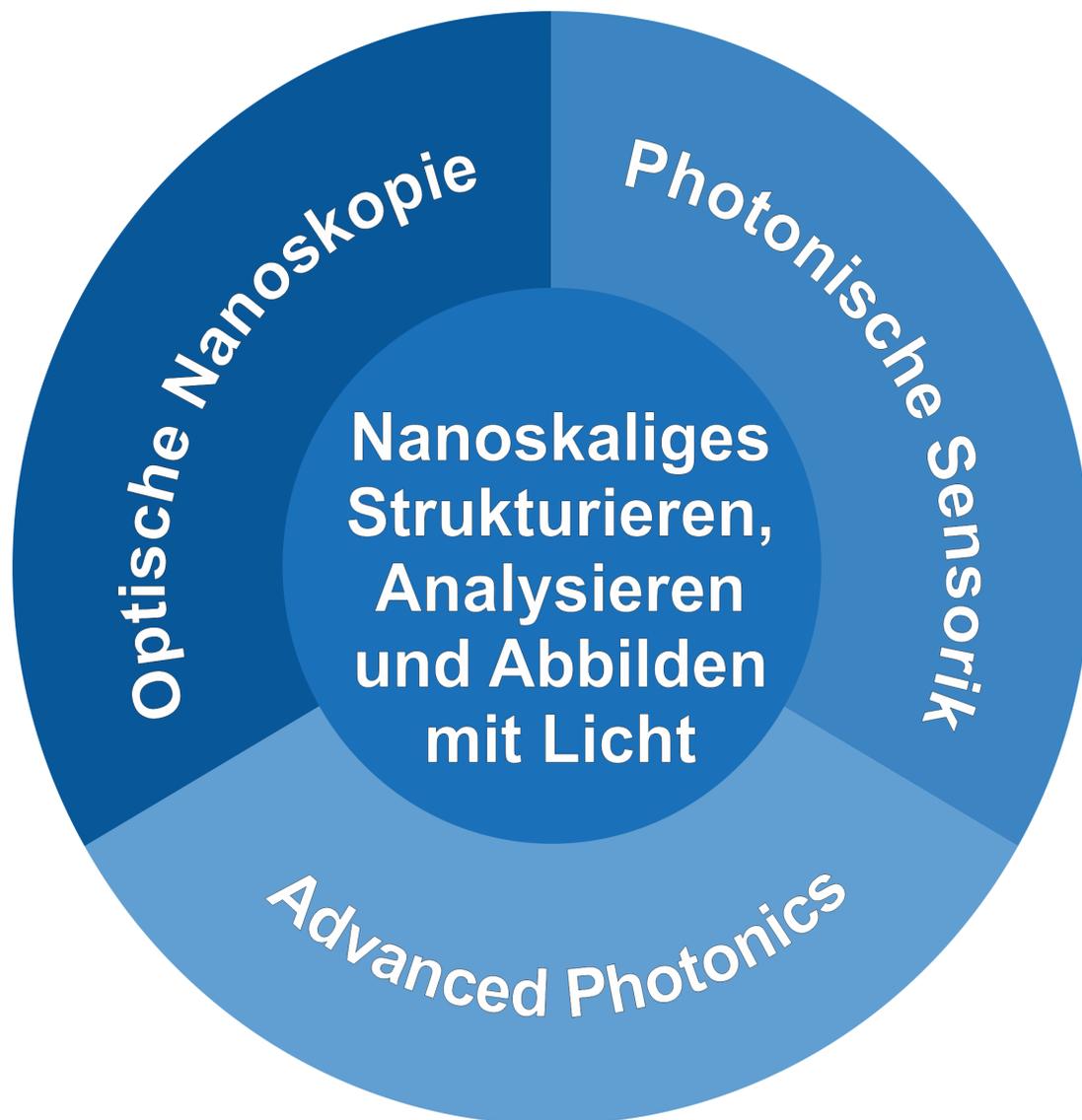
Also in 2019, we were able to generate 70% of the operational budget from third-party funds. Around 25% of this figure is attributable to the acceptance of direct orders from the industrial sector, thus remaining at the same high level as the previous year. Above all, we have the dedication of our highly qualified employees to thank for this excellent result. I would like to extend my thanks to them in particular.

We are all facing significant challenges in 2020, not least due to the impact of the coronavirus pandemic. For this reason, we should be taking advantage of opportunities for strategic development at the moment. I would be pleased if we were able to provide you with expert support as part of innovative research and development projects.

Enjoy reading

Alexander Eigner

Leitbild LLG
Mission Statement



Leitbild LLG

Mission Statement

Exzellenz durch Zusammenarbeit

Unsere Mission sind die anwendungsorientierte Grundlagenforschung auf dem Gebiet der optischen Technologien und der Technologietransfer von der Wissenschaft in die Wirtschaft mit stark regionalem Bezug. Wir setzen Licht als Werkzeug ein und sind Experten für nanoskaliges Strukturieren, Analysieren und Abbilden mit Licht. Hier gehören wir zu den weltweit führenden Einrichtungen.

Das Laser-Laboratorium Göttingen betreibt interdisziplinäre Spitzenforschung in Kooperation mit regionalen, nationalen und internationalen Partnern aus Industrie und Forschung und entwickelt auf diese Weise kompetitive Produkte, Lösungen und Innovationen - zum Wohl der Gesellschaft und zur Stärkung der Wirtschaft. Wir verstehen uns insbesondere als erster Ansprechpartner für den Mittelstand für Fragestellungen aus dem Bereich der angewandten Optik. Mit unseren Kunden und Partnern arbeiten wir vertrauensvoll, schnell und effektiv zusammen.

Die regionale Wirtschaft profitiert von uns durch Wissenstransfer und exzellent ausgebildete Absolventen. Wir initiieren und unterstützen den Dialog und Erfahrungsaustausch über alle Themen der optischen Technologien.

Wir bieten eine industrienah wissenschaftliche Ausbildung auf höchstem Niveau. Unser Erfolg basiert auf dem Wissen und dem Engagement unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Deren Fähigkeiten und deren Begeisterung, ein offener Austausch und ein ausgezeichnetes Arbeitsumfeld schaffen die Grundlage für kreative Lösungen von wissenschaftlichen und technologischen Fragestellungen.

Excellence through cooperation

Our mission is application-oriented basic research in the field of optical technologies and the transfer of technology from science to the market with strong regional attachment. We use light as a tool and are experts in nano-scale structuring, analyzing and imaging with light. We are among the world's leading institutions in this respect.

The Laser Laboratory Göttingen conducts interdisciplinary top research in cooperation with regional, national and international partners from industry and research, thus developing competitive products and solutions and innovations for the benefit of society and for strengthening the economy. In particular, we see ourselves as the first point of contact for SMEs (small and medium sized enterprises) for issues in the field of applied optics. We work together with our customers confidentially, quick and effectively. The regional economy profits from us through knowledge transfer and excellent trained graduates. We initiate and support dialogue and exchange of experience in all topics regarding optical technologies.

We offer industry-related scientific education at the highest level. Our success is based on the knowledge and commitment of our employees. Their abilities and their enthusiasm, open exchange of ideas and excellent work environment create the basis for creative solutions to scientific and technological issues.

Institutsstruktur

Institution Structure



Laser-Laboratorium Göttingen e.V.

Trägerverein - Vorstand



Prof. Dr. Jürgen Troe
Vorstandsvorsitzender
Universität



Dr. Bernd Stoffregen
Schatzmeister
Industrie



Prof. Dr. Stefan W. Hell
Vorstandsmitglied
Max-Planck Gesellschaft



Prof. Dr. Claus Ropers
Vorstandsmitglied
Universität

Institutsleitung



Apl. Prof. Dr. Alexander Egner
Institutsdirektor



Roland Becker
Verwaltungsleiter

Kompetenzfelder



Apl. Prof. Dr. Alexander Egner
Optische Nanoskopie



Dr. Peter Simon
Kurze Pulse/Nanostrukturen



Dr. Jürgen Ihlemann
Kurze Pulse/Nanostrukturen



Dr. Klaus Mann
Optik/Kurze Wellenlängen



Dr. Hainer Wackerbarth
Photonische Sensorik

Institutsstruktur

Institution Structure

Kuratorium / Board of Trustees



Prof. Dr. Peter Loosen, Vorsitzender
Fraunhofer Institut für Lasertechnik,
Aachen



Prof. Dr. Philippe Bastiaens
Max-Planck-Institut für molekulare Physiologie,
Dortmund



Dr. Dietmar Gnass
Polytec GmbH,
Waldbronn



Prof. Dr. Thomas A. Klar
Universität Linz,
Österreich



Prof. Dr. Andrea Koch
HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft
und Kunst, Hildesheim/Holzminden/Göttingen



Prof. Dr. Eva-Maria Neher
Georg-August-Universität,
XLAB-Göttinger Experimentallabor für junge
Leute e.V., Göttingen



Prof. Dr. Tim Salditt
Georg-August-Universität, Institut für
Röntgenphysik, Göttingen

Das Institut in Zahlen

Statistics of the Institute

Betriebshaushalt

Der Betriebshaushalt im Jahr 2019 hatte ein Volumen von 4,58 Millionen Euro. Die Grundfinanzierung als ein wichtiger Bestandteil, wird als institutionelle Förderung vom Land Niedersachsen bereitgestellt. Der Finanzierungsanteil der eigenen Einnahmen am Betriebshaushalt lag bei 69,9 %. Die Einnahmen aus Industrie trugen mit 24,3 % zur Finanzierung bei und lagen damit weiterhin auf hohem Vorjahresniveau.

Investitionen

Im Jahr 2019 wurden Investitionen in die kontinuierliche Erweiterung der technologischen Ausstattung im Gesamtumfang von 0,4 Millionen Euro getätigt.

Personal

Am Laser-Laboratorium Göttingen waren zum Stichtag 31.12.2019 insgesamt 51 Mitarbeiter beschäftigt, davon 39 Wissenschaftler und Techniker, was einem Anteil von 76,5 % an den Gesamtbeschäftigten entspricht. Die wissenschaftlichen Mitarbeiter verfügen mehrheitlich über einen Abschluss als M.Sc. Physik. Darüber hinaus arbeiten am Institut graduierte Photoniker, Chemiker, Informatiker und Kaufleute, die in interdisziplinären Forschungsgruppen tätig sind.

Ausbildung und Qualifikation

Das LLG bietet Studentinnen und Studenten die Möglichkeit ihr Studium mit praktischer wissenschaftlicher Arbeit in den Laboren und Werkstätten des LLG zu verbinden. Zum Jahresende 2019 wurden 7 wissenschaftliche und studentische Hilfskräfte am LLG betreut. Darüber hinaus wurden am LLG in 2019 wiederum 3 Promotionen in Kooperation mit der Georg-August-Universität Göttingen abgeschlossen.

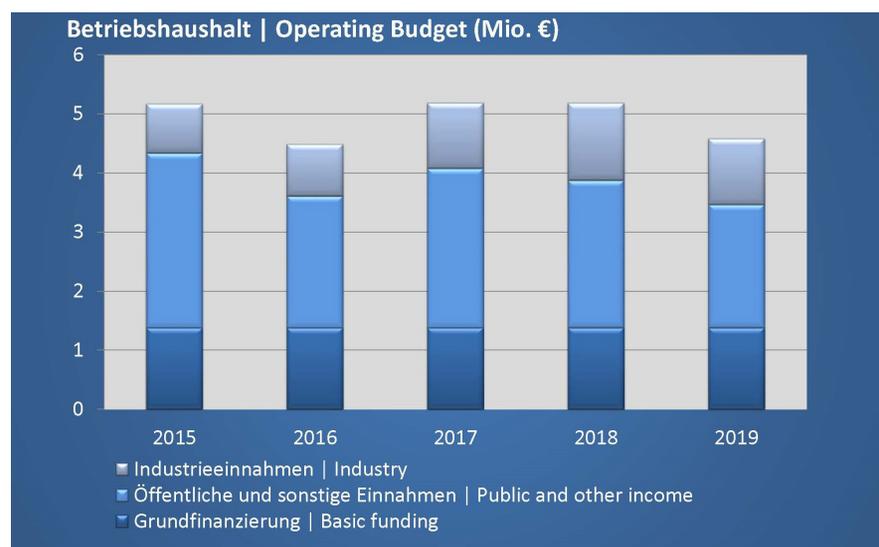


Roland Becker
Verwaltungsleiter

+49(0)551/5035-32
+49(0)551/5035-99
roland.becker@llg-ev.de

Mitarbeiter Staff members

Dirk Born
Tatjana Kasten
Uwe Lampe
Olaf Mädiger
Andreas Spata
Jutta Steckel
Anette Zwingmann



Das Institut in Zahlen

Statistics of the Institute

Operating Budget

The operating budget in 2019 had a volume of 4.58 million euros. The basic funding, an important component, is provided by the German State of Lower Saxony as institutional grant. The financing share of own revenues was 69.9 %. Industry revenues contributed 24.3 % to the financing and were thus remaining at the high level of the previous year.

Investment

In 2019, a total of 0.4 million euros was invested in the continuous expansion of the technological equipment.

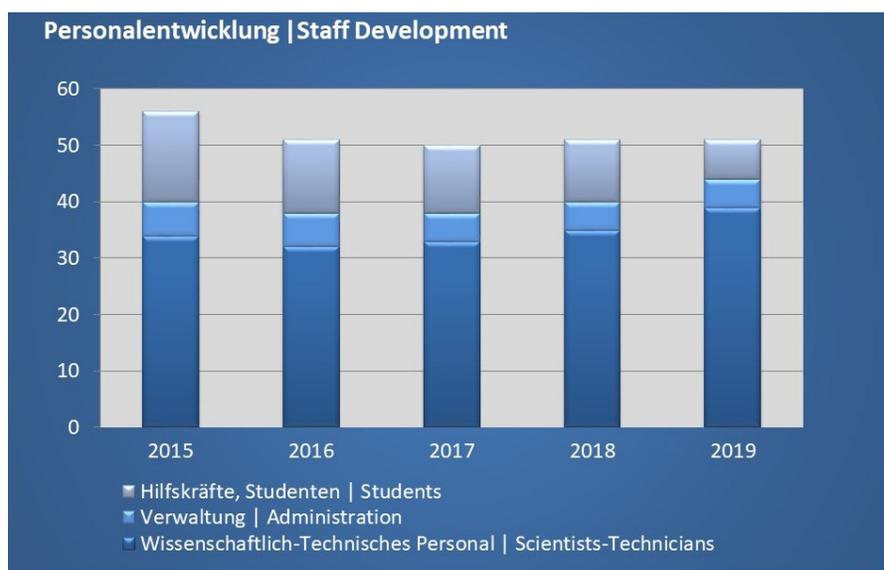
Staff

At the end of 2019, Laser Laboratorium Göttingen had 51 employees, 39 of them scientists and technicians, which corresponds to 76.5 % of the total employees. Most of the scientific staff have an graduation in M.Sc. Physics.

In addition, people with degrees in photonics, chemistry, computer science and business work in interdisciplinary research groups.

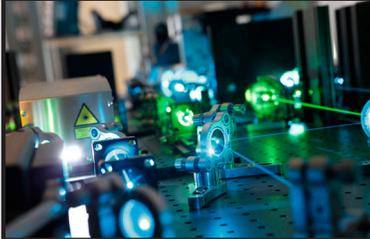
Training and Qualifications

The LLG offers students the opportunity to combine their studies with practical scientific work in the LLG laboratories and workshops. At the end of 2019, 7 students and research assistants were supported at the LLG. In addition, three doctoral candidates concluded their fellowship at the LLG in 2019 in cooperation with the Georg August University Göttingen.



Die Abteilungen

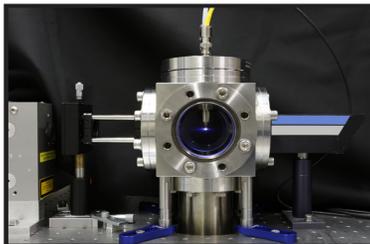
The Departments



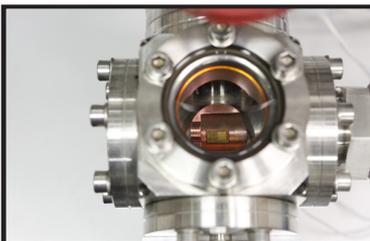
Optische Nanoskopie
Optical Nanoscopy



Kurze Pulse / Nanostrukturen
Short Pulses / Nanostructures

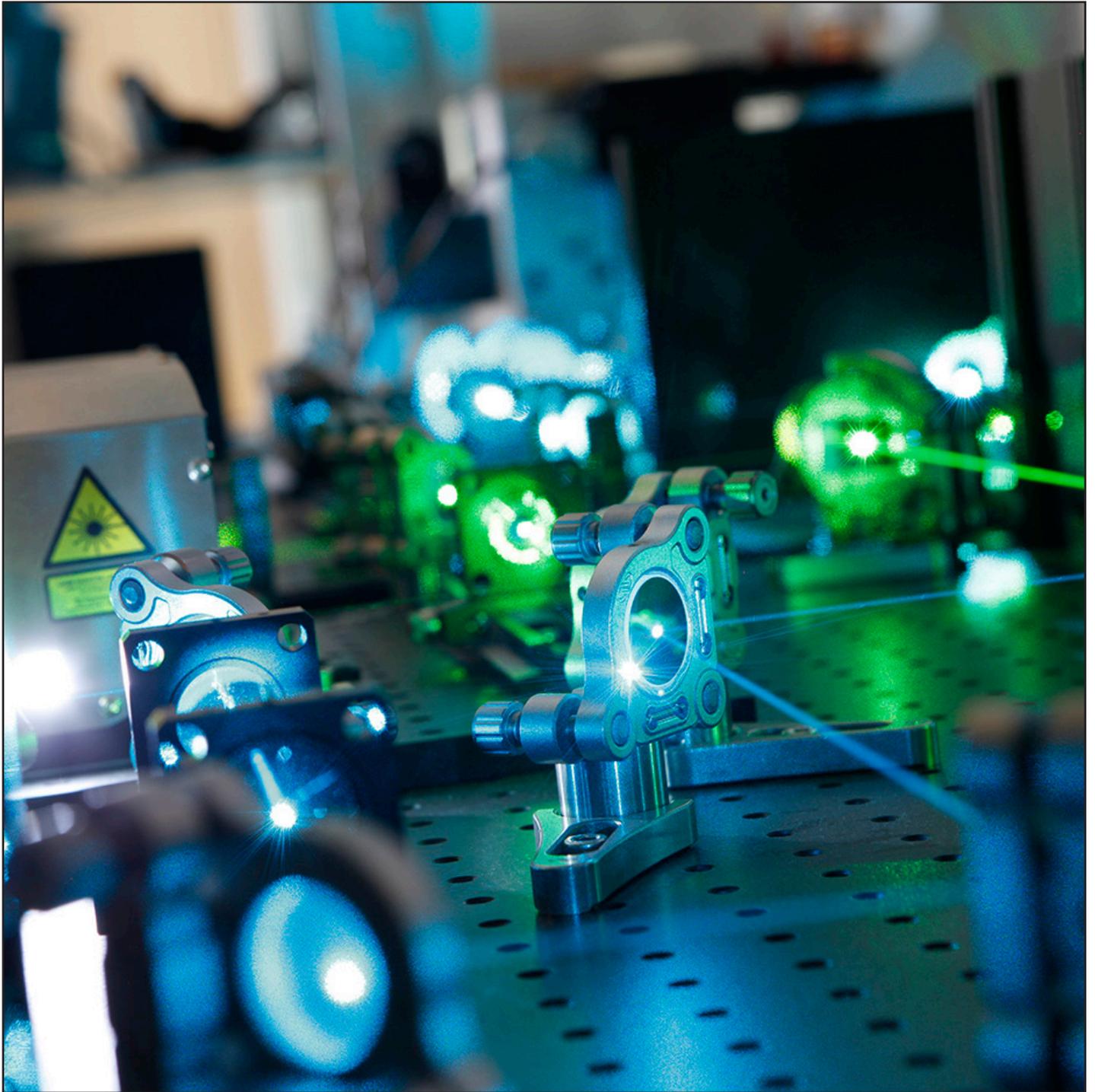


Optik / Kurze Wellenlängen
Optics / Short Wavelengths



Photonische Sensorik
Photonic Sensor Technologies

Berichte aus der Abteilung
Departmental Reports



Optische Nanoskopie

Optical Nanoscopy

Das Beobachten der Nanowelt im Inneren von (lebenden) Zellen eröffnet einmalige Möglichkeiten zum Verständnis der dort ablaufenden molekularen Prozesse. Dieser Erkenntnisgewinn ist einer der Schlüssel für das Verständnis von Krankheiten und damit für die Entwicklung von diagnostischen Verfahren wie auch neuen Medikamenten und für deren therapeutischen Einsatz. Die konventionelle Lichtmikroskopie hat sich in den Lebenswissenschaften als ein unverzichtbares Instrument bewährt, leidet jedoch unter einer entscheidenden Einschränkung: Die durch die Wellennatur des Lichts auf 200–300 nm begrenzte Auflösung verschließt dem Betrachter die entscheidende Größenskala: Die Nanowelt bleibt verborgen. Die hochauflösende Fluoreszenzmikroskopie umgeht diese Limitierung und bedient sich hierzu eines Tricks: Die Eigenschaften fluoreszierender Markermoleküle werden derart ausgenutzt, dass die Informationen, die sich innerhalb des Bereichs eines verwaschenen Lichtflecks befinden, sequenziell ausgelesen werden können. Die Auflösung des "optischen Nanoskops" ist dadurch nicht mehr durch die Beugung limitiert und der Blick in die Nanowelt der Zelle wird scharf. Für die Entwicklung der hochauflösenden Fluoreszenzmikroskopie wurden 2014 Stefan W. Hell, Eric Betzig und William E. Moerner mit dem Chemie-Nobelpreis ausgezeichnet. Die Abteilung "Optische Nanoskopie" befasst sich mit der anwendungsorientierten Grundlagenforschung auf diesem Gebiet und erweitert das Methodenspektrum innerhalb der hochauflösenden Fluoreszenzmikroskopie.

Taking a close look at the nanoworld inside (living) cells provides fantastic possibilities for gaining insight into the ongoing molecular processes. This knowledge is one of the keys to understanding diseases and developing new diagnostic tools, novel drugs, and their therapeutic use. Conventional light microscopy has emerged as an indispensable tool in the life sciences; however, it suffers from one major drawback. The light microscope's resolution is limited to 200–300 nm due to the wave nature of light. Therefore, the crucial dimensions stay out of reach for the observer: The nanoworld remains hidden. Super-resolution fluorescence microscopy avoids this limitation by using a trick. The properties of fluorescent markers are used such that the information within a diffraction-limited spot is read out sequentially. As a result, the resolution of the "optical nanoscope" is no longer diffraction-limited and the nanoworld is revealed. In 2014, Stefan W. Hell, Eric Betzig, and William E. Moerner were awarded the Nobel Prize in Chemistry for the development of super-resolution fluorescence microscopy. The department of "Optical Nanoscopy" places emphasis on basic research and applications in this field and develops new methods for high-resolution fluorescence microscopy.



Apl. Prof. Dr. Alexander Egner
Institutsdirektor
Abteilungsleiter

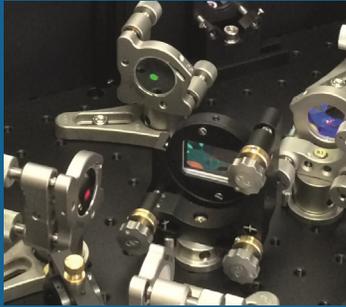
☎ +49-(0) 551/5035-35
☎ +49-(0) 551/5035-99
✉ alexander.egner@llg-ev.de

Mitarbeiter Staff members

Dr. Claudia Geisler
Dr. Francesco Rocca
Dr. René Siegmund
Dr. Kareem Soliman
Debadrita Ghosh
Parul Jain
Julia Kratz
Lenny Reinkensmeier
Britta Vinçon

Optische Nanoskopie

Optical Nanoscopy

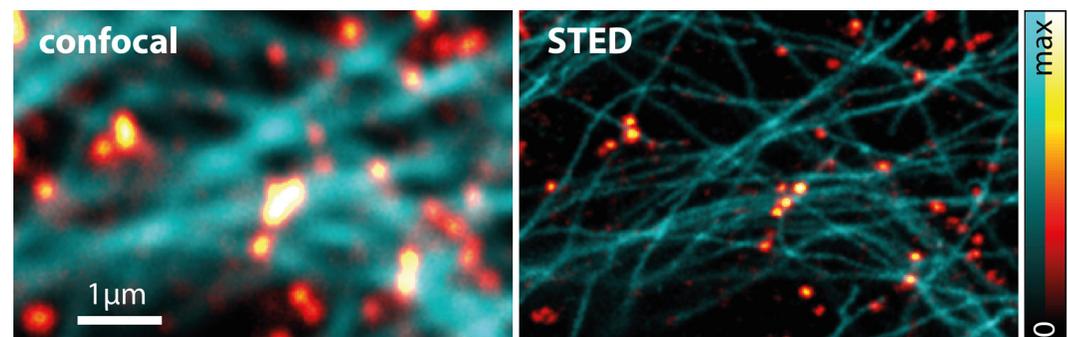


Nanoskopie mittels stimulierter Emission: STED-Mikroskopie

Die STED-Mikroskopie ist die prominenteste Variante der ensemblebasierten Nanoskopiemethoden und erlaubt routinemäßig eine Auflösungssteigerung um mindestens eine Größenordnung. Sie nutzt den Prozess der stimulierten Emission, um Fluoreszenzmarker von einem hellen, fluoreszierenden in einen dunklen, nicht-fluoreszierenden Zustand zu überführen. Typischerweise werden Fluorophore zunächst mit einem fokussierten Laserstrahl angeregt. Durch Überlagerung dieses Anregungsfokus mit einem weiteren Laserfokus werden angeregte Fluorophore durch stimulierte Emission am Fluoreszieren gehindert. Hat dieser sogenannte STED-Laserfokus eine Ringform mit einer zentralen Intensitätsnull, so werden Moleküle am Rand ausgeschaltet, Moleküle im Zentrum aber nicht beeinflusst. Daraus ergibt sich eine räumliche Einengung des fluoreszierenden Bereichs, was gleichbedeutend mit einer Auflösungsverbesserung ist. Zur Bilderstellung wird dieser eingengte fluoreszierende Bereich pixelweise durch das Bildfeld gerastert.

Die Auflösung des STED-Bildes, die durch die Ausdehnung des fluoreszierenden Flecks bestimmt wird, hängt somit von der Intensität des STED-Strahls und den photophysikalischen Eigenschaften der verwendeten Fluoreszenzmarker ab. Theoretisch kann die Auflösung beliebig gut werden und experimentell werden derzeit problemlos wenige zehn Nanometer erreicht.

Für viele biologische Fragestellungen ist es interessant, die relative räumliche Verteilung zweier unterschiedlicher Proteinsorten in hoher Auflösung zu untersuchen. Aus einer farbkodierten Ortsdarstellung lassen sich dann Rückschlüsse auf die Funktion und Interaktion der Proteine ziehen. Unsere technische Realisierung eines entsprechenden STED-Mikroskops erreicht Hochauflösung in zwei Farbkanälen mit nur einem STED-Laser. Die Überlagerung beider Kanäle ist dadurch unabhängig von Justage und chromatischen Aberrationen. Zudem werden sie quasi-simultan mit minimalem Übersprechen aufgenommen, wovon die Bildqualität und die Nutzerfreundlichkeit des Mikroskops deutlich profitieren.



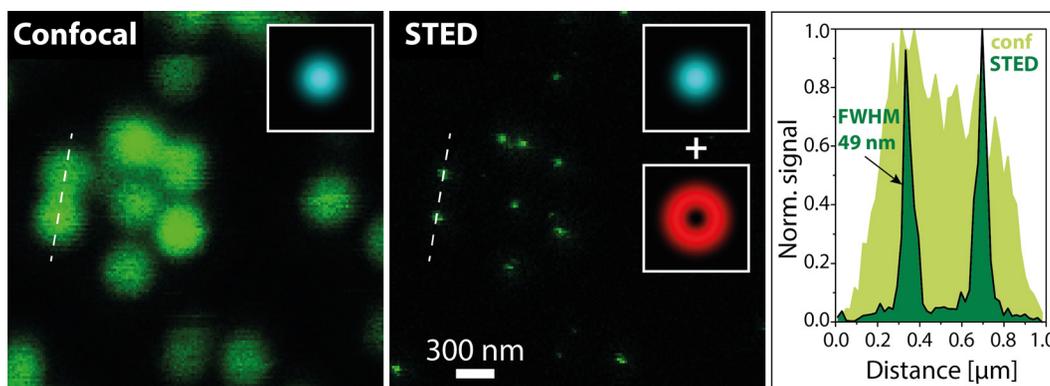
Zweifarbigen Mikroskopbild in konfokaler Auflösung (links) und in Hochauflösung (rechts). Gezeigt sind das Mikrotubulinnetzwerk (cyan) und Clathrin (gelb-rot) in einer U2-OS Zelle. Two-color microscopy image in confocal (left) and in high resolution (right). Shown are the microtubule network (cyan) and clathrin (yellow-red) in a U2-OS cell.

Optische Nanoskopie

Optical Nanoscopy

Nanoscopy using stimulated emission: STED microscopy

STED microscopy is the most prominent technique among the ensemble-based nanoscopy methods and routinely achieves a resolution increase of at least one order of magnitude. It uses stimulated emission to “switch” fluorescent markers from a bright, fluorescent state to a dark, non-fluorescent state. Typically, fluorophores are excited by a focused laser beam. By superimposing this excitation focus with another laser focus, the excited fluorophores are prevented from fluorescing by stimulated emission. If this so-called STED laser focus has a ring shape with a central intensity zero, molecules at the rim are switched off, while molecules in the center are not influenced. This results in a spatial narrowing of the fluorescent area, which is synonymous with an improvement in resolution. The STED image is recorded by scanning the confined fluorescent spot through the field of view pixel by pixel.



Konfokales (links) und STED-Bild (Mitte) von fluoreszierenden Kugeln. Die Einsatzbilder zeigen die jeweils verwendeten fokalen Intensitätsverteilungen (Anregung: cyan, STED: rot). Der Graph rechts veranschaulicht die Auflösungsverbesserung anhand von Intensitätsprofilen entlang der gestrichelten weißen Linien.

Confocal (left) and STED image (center) of fluorescent microspheres. The insets show the focal intensity distributions used in each case (excitation: cyan, STED: red). The graph (right) illustrates the resolution improvement with the help of intensity profiles along the dashed white lines.

The resolution of the STED image, which is given by the extent of the fluorescent spot, depends on the applied STED intensity and the photophysical properties of the fluorophore. Theoretically, the resolution can get arbitrarily better and, experimentally, a few 10 nanometers can currently be achieved without any problems.

For many biological questions, it is interesting to investigate the relative spatial distribution of two different types of proteins at high resolution. From the color-coded images of locations, conclusions can then be drawn regarding the protein's function and their interaction. Our technical implementation of a suitable STED microscope achieves high resolution in two color channels with only one STED laser. Hereby, the overlap of both channels is independent of alignment and chromatic aberrations. Also, both are acquired quasi-simultaneously with minimal crosstalk, from which the image quality and user friendliness benefit tremendously.

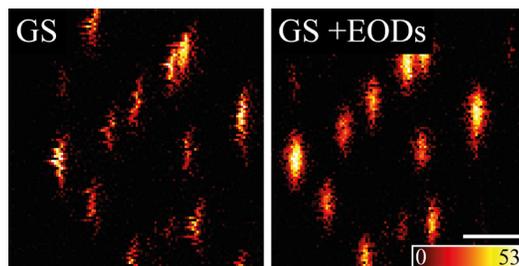
Optische Nanoskopie

Optical Nanoscopy

Pixel-Hopping ermöglicht schnelle STED-Mikroskopie bei geringer Lichtdosis

In der Fluoreszenzmikroskopie und -nanoskopie sind sowohl die erreichbare zeitliche Auflösung als auch die Bildqualität von großer Bedeutung für die Aufnahme schneller dynamischer Prozesse in lebenden Zellen. Die Bildqualität ist in der Regel durch Photobleichen und die daraus resultierende Phototoxizität begrenzt. Besonders kritisch ist es, die richtige Balance zwischen einem guten Signal-Rausch-Verhältnis, das eine relativ hohe Lichtdosis erfordert, und der Lebensfähigkeit der Zellen zu finden. Die Reduzierung der auf die Probe einwirkenden Lichtdosis bei unverminderter Bildqualität ist daher eine Herausforderung für alle hochauflösenden Bildgebungsverfahren. Die meisten bekannten Techniken, die eine Reduzierung der Lichtdosis erreichen, übertragen dies nicht in eine schnellere Bildaufnahme zeitweise und damit eine bessere zeitliche Auflösung. Dies ist auch für das RESCue-Schema der Fall, bei dem die Laser unter adäquaten Bedingungen während der Bildaufnahme ausgeschaltet werden.

Wir haben mit FastRESCue eine Variante von RESCue entwickelt, bei der anstatt die Laser auszuschalten die nächste Pixelposition direkt angefahren werden kann. Damit wird STED-Mikroskopie mit geringer Lichtdosis und zusätzlich deutlich kürzeren Aufnahmezeiten möglich.



◀ Für eine verzerrungsfreie Bildgebung mit variablen Pixelverweildauern ist die Verwendung von EODs zusätzlich zum Galvanometer-Scanner (GS) zwingend erforderlich. For distortion-free imaging with variable pixel dwell times, the use of EODs in addition to a galvanometer scanner (GS) is strictly necessary.

Wesentlich für diese Verbesserung war ein modifiziertes Scansystem: Durch die Kombination eines Galvanometer-Scanners und elektrooptischer Deflektoren (EODs) konnte ein Scansystem mit geringer Latenzzeit, aber dennoch großem Bildfeld realisiert werden. Damit kann das Mikroskop jede Position im Bildfeld sofort adressieren und ist nicht auf die typischen Scan-Muster beschränkt. Insbesondere ermöglicht dieses Pixel-Hopping eine verzerrungsfreie Abbildung bei variierenden Pixelverweildauern. In Verbindung mit einer gleichzeitigen pixelbasierten Analyse des Fluoreszenzsignals kann so eine smarte und probenstruktur-spezifische Steuerung der Scan-Position und der Pixelverweildauer realisiert werden.

Am Beispiel von RESCue-basierter STED-Bildgebung haben wir gezeigt, dass mit diesem kombinierten Scansystem eine Lichtdosisreduktion nahezu vollständig in eine schnellere Aufnahmezeit überführt werden kann. Insbesondere kann unser neues FastRESCue-Bildgebungsschema die Aufnahme von biologischen Proben lokal bis zu 10-fach beschleunigen und ermöglicht insgesamt eine 5-mal schnellere Aufnahme bei nur 20% der Lichtdosis im Vergleich zur klassischen STED-Mikroskopie. In Zukunft wird Pixel-Hopping daher die Echtzeit-Aufnahme schneller molekularer Prozesse in lebenden Zellen erleichtern.

Optische Nanoskopie

Optical Nanoscopy

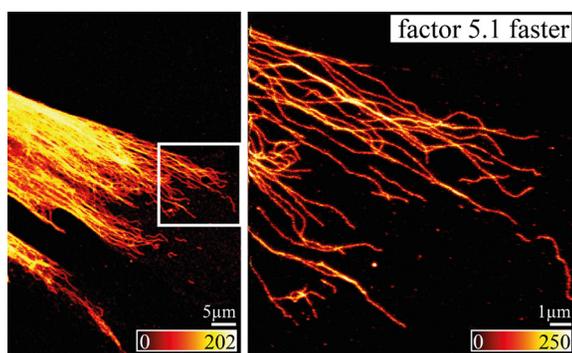
Pixel hopping enables fast STED microscopy at low light dose

In fluorescence microscopy and nanoscopy, both the achievable temporal resolution and the image quality are of great importance for capturing fast dynamics in living cells. The image quality is usually limited by photobleaching and, as a result, phototoxicity. Finding the right balance between a good signal-to-noise ratio, which necessitates a relatively high light dose, and cell viability is particularly critical. Reducing the light dose imposed on the sample at uncompromised image quality is thus a challenge for all high-resolution imaging techniques. Up to date, most techniques, which achieve a reduction of the light dose, do not transfer this reduction into a faster image recording and thus a better temporal resolution. This is also the case for the RESCue scheme, in which lasers are shut off under adequate conditions during the image acquisition.

With FastRESCue we have developed a variant of RESCue, where instead of switching off the lasers, the next pixel position can directly be addressed. This enables STED imaging with low light dose and considerably shorter acquisition times.

Essential for this improvement was an adapted scan system: By the combination of a galvanometer scanner and electro-optic deflectors (EODs), a scan system with low latency, but nonetheless a large field of view could be implemented. Therewith, the microscope can address any position in the field of view instantaneously and is not restricted to typical scan patterns. In particular, this pixel-hopping allows distortion-free imaging at varying pixel dwell times. In conjunction with on-line pixel-based fluorescence signal analysis, a smart and sample structure-specific control of the scan position and the pixel dwell time can be implemented.

For the example of RESCue-based STED imaging, we showed that by means of pixel hopping, a reduction in light dose can almost completely be transferred into a faster recording time. In particular, in biological samples our new FastRESCue imaging scheme is able to speed up the acquisition locally up to 10-fold and allows overall for a 5 times faster acquisition at only 20% of the light dose compared to classical STED microscopy. In future, pixel hopping will thus facilitate real-time imaging of fast molecular processes in living cells.

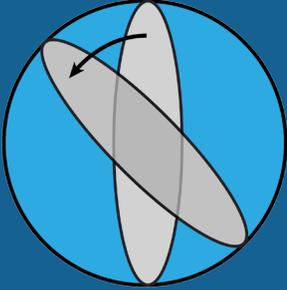


FastRESCue-STED-Bildgebung von Vimentin in Fibroblasten: (a) konfokale Übersichtsaufnahme und (b) fünfmal beschleunigte FastRESCue-Aufnahme. FastRESCue-STED imaging of vimentin in fibroblasts: (a) confocal overview and (b) fivefold accelerated FastRESCue acquisition.

Optische Nanoskopie

Optical Nanoscopy

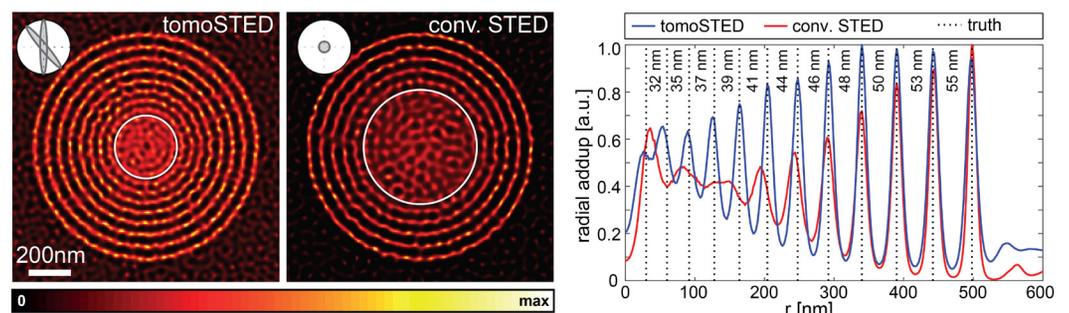
Tomographische STED-Mikroskopie



Theoretisch kann ein STED-Mikroskop eine unendlich gute Auflösung erzielen, da diese hauptsächlich von der STED-Intensität im Laserfokus und von den Eigenschaften der Farbstoffe abhängt. In der Praxis ergeben sich jedoch Limitierungen, z. B. durch die verfügbare Laserleistung oder durch die Photostabilität der verwendeten Fluoreszenzfarbstoffe. Im Vergleich zur klassischen STED-Mikroskopie stellt die sogenannte tomographische STED-Mikroskopie ein probenschonendes hochauflösendes Bildgebungsverfahren dar, mit dem die benötigte Lichtdosis reduziert werden kann und trotzdem die Bildqualität erhalten bleibt.

Hierfür wird ein STED-Fokus verwendet, der – anders als die konventionelle Ringmode – eine Nulllinie der Intensität aufweist (1D-Mode). Da bei der 1D-Mode das STED-Licht auf einen kleineren Bereich verteilt wird, ist die Steigung in zur Intensitätsnulllinie orthogonaler Richtung größer als bei der Ringmode. Dies bedeutet, dass die Auflösung in dieser Richtung vergleichsweise besser ist.

Hochauflösende Informationen des Objekts in allen Raumrichtungen lassen sich durch Rotation dieser 1D-Mode erzielen. Die so erhaltenen Einzelbilder erlauben dann die Rekonstruktion eines zweidimensional hochaufgelösten Bildes. Wir konnten zeigen, dass solch ein tomoSTED-Bild bei gleicher Laserleistung eine ca. 1,5-fach bessere Auflösung aufweist als das konventionelle STED-Bild.



Die tomoSTED-Mikroskopie erreicht bei gleicher Laserleistung eine 1,5-fach bessere Auflösung als die konventionelle STED-Mikroskopie. Simuliertes tomoSTED-Bild (a) und konventionelles STED-Bild (b). (c) Radiale Summe von (a) und (b) mit Abständen der benachbarten Ringe.

TomoSTED microscopy achieves a 1.5-fold better resolution than conventional STED microscopy at the same laser power. Simulated tomoSTED image (a) and conventional STED image (b). (c) Radial add-up of (a) and (b) with numbers indicating the distance of neighboring rings.

Für biologische Anwendungen ist insbesondere folgender Aspekt der tomoSTED-Mikroskopie bedeutend: Um die gleiche Bildqualität zu erreichen, wird nur die halbe Laserleistung benötigt. Mittels geeigneter Rekonstruktionsmethoden kann zusätzlich die Aufnahmezeit halbiert werden, wodurch die verwendete Lichtdosis und damit potentiell das Photobleichen und die Probeschädigung, auf ein Viertel reduziert werden.

In der Praxis lässt sich eine 1D-Mode z. B. mit Hilfe der konischen Beugung in einem biaxialen Kristall erzeugen. Gegenüber anderen Methoden hat diese den Vorteil, dass die Orientierung der 1D-Mode nur von der Polarisation des Lichts abhängt. Dies ermöglicht ein ultraschnelles Rotieren der 1D-Mode und somit ein Drehen auf Pixelbasis, was neue Ansätze zur probenstruktur-spezifischen Bildgebung eröffnet, z. B. für die Untersuchung von schnellen Bewegungsvorgängen in lebenden Zellen.

Optische Nanoskopie

Optical Nanoscopy

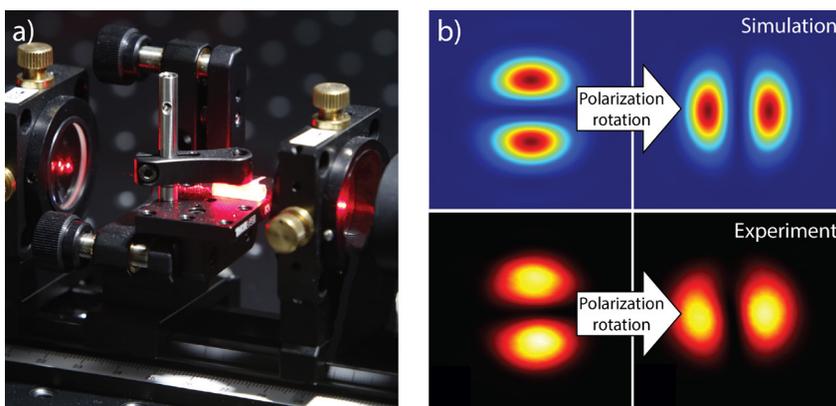
Tomographic STED-Microscopy

Theoretically, the optical resolution in STED microscopy can become infinitely good, since it mainly depends on the focal STED intensity and on the properties of the fluorophores. However, there are practical constraints for example due to the available laser power or the photo-stability of the sample. In comparison to the conventional STED variant, tomographic STED microscopy constitutes a sample-preserving high resolution imaging technique, which allows to image samples with a lower light dose while maintaining the same resolution as in conventional STED microscopy.

For this purpose, a STED focus is used which – unlike the conventional ring mode – has a zero line of intensity (1D mode). As the light is concentrated in a smaller region, the 1D mode features a higher steepness in the direction orthogonal to the zero intensity line, which is equivalent to a comparably higher resolution in this direction. High-resolution information of the object in all spatial directions can then be achieved by rotating the 1D mode. The single images obtained in this way allow the reconstruction of a two-dimensionally super-resolved image. We showed that, for the same laser power, such a tomoSTED image has a 1.5-fold better resolution than the conventional STED image.

For biological applications, the following aspect of tomoSTED microscopy is particularly relevant: to achieve the same image quality, only half the laser power is required. Via suitable reconstruction methods, the acquisition time can additionally be halved, which reduces the light dose and thus potentially the photobleaching and sample damage to a quarter.

In practice, a 1D mode can for example be generated by means of conical diffraction in a biaxial crystal. Compared to other methods, this has the advantage that the orientation of the 1D mode depends only on the polarization of the light, which allows ultrafast adjustment of the 1D mode and thus pixel-based rotation. This opens up new approaches to sample structure-specific imaging, e. g. for the investigation of fast movements in living cells.



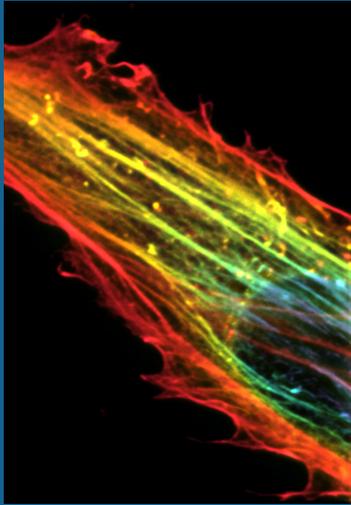
(a) Foto eines biaxialen Kristalls, der von einem roten Laser durchstrahlt wird. (b) Simulierte (oben) und gemessene (unten) 1D-Moden, deren Orientierung nur von der Polarisation des Lasers vor dem biaxialen Kristall abhängt.

(a) Photograph of a biaxial crystal which is traversed by a red laser beam. (b) Simulated (top) and measured (bottom) 1D modes whose orientation only depends on laser polarization before the axial crystal.

Optische Nanoskopie

Optical Nanoscopy

Nanoskopie von dynamischen Prozessen in lebenden Zellen mit isotroper Auflösung

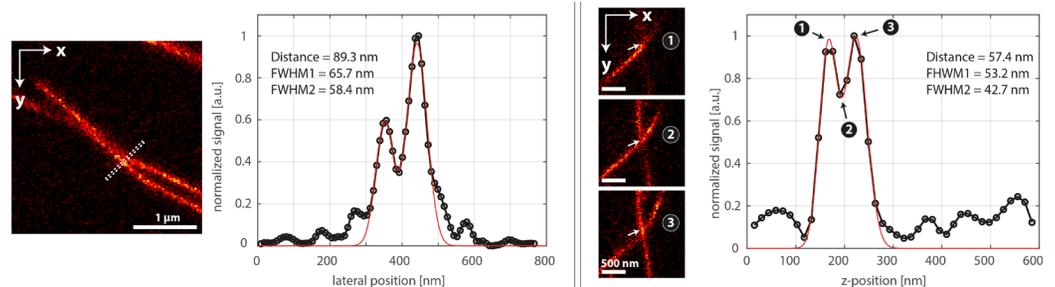


Für ein grundsätzliches Verständnis biologischer Prozesse ist es wichtig, die räumliche Anordnung und die zeitliche Veränderung von kleinsten Strukturen, genauer von Proteinverteilungen, innerhalb lebender Zellen zu analysieren. Dies stellt nicht nur hohe Anforderungen an das dreidimensionale Auflösungsvermögen und die Aufnahmegeschwindigkeit des verwendeten Mikroskops, sondern erfordert auch eine aberrationsfreie Bildgebung in wässrigen Nährmedien.

In einem isoSTED-Mikroskop wird durch die kohärente Verwendung zweier sich gegenüberliegender Objektive in Kombination mit dem STED-Prinzip ein isotroper, kugelförmiger Lichtfokus erzeugt. Dieser Fokus wird durch die Probe gefahren, das detektierte Licht einem Volumenpixel zugewiesen und so eine dreidimensionale hochaufgelöste Abbildung der Probenstruktur erstellt. Die isoSTED-Mikroskopie bietet eine isotrope Hochauflösung von wenigen zehn Nanometern und arbeitet mit STED-mikroskopie-typischen Pixelverweildauern von nur wenigen zehn Mikrosekunden, was sie zu einem geeigneten Kandidaten für die schnelle und isotrope Lebendzell-Nanoskopie macht.

Die Notwendigkeit lebende biologische Zellen in einem wässrigen Nährmedium zu untersuchen, stellt jedoch eine Herausforderung dar: die zu untersuchende Struktur befindet sich zwischen beiden Objektiven, so dass zwangsläufig die gesamte Tiefe der wässrigen Probe mit zum optischen Strahlengang gehört. Damit Abbildungsfehler minimiert werden, ist die Verwendung von Objektiven mit Wasserimmersion unerlässlich. Deren – im Vergleich zu Ölobjektiven – niedrigere numerische Apertur und damit deren schlechtere klassische Auflösung und der optische Übergang vom Deckglas zum wässrigen Einbettmedium erschweren die hochauflösende Bildgebung.

Wir haben ein isoSTED-Mikroskop entwickelt, das für die schnelle Bildgebung in wässriger Umgebung optimiert ist. Beispielhaft für die vielseitige Verwendbarkeit dieses Mikroskops wurde die Bewegung von Mikrotubuli in lebenden Zellen in Zeitraffermessungen mit einer isotropen Auflösung besser als 60 nm aufgenommen. Zudem demonstrieren Messungen von Zellen auf wässrigen Gelen, deren Elastizität der der extrazellulären Matrix entspricht, dass die isoSTED-Mikroskopie unter physiologischen Bedingungen praktikabel ist.



▲ isoSTED-Aufnahmen des Mikrotubuli-Netzwerks in lebenden Fibroblasten. Benachbarte Filamente können in lateraler (links) und axialer (rechts) Richtung aufgelöst werden.

isoSTED image of the microtubule network in living fibroblasts. Adjacent filaments can be resolved in lateral (left) and axial (right) direction.

Optische Nanoskopie

Optical Nanoscopy

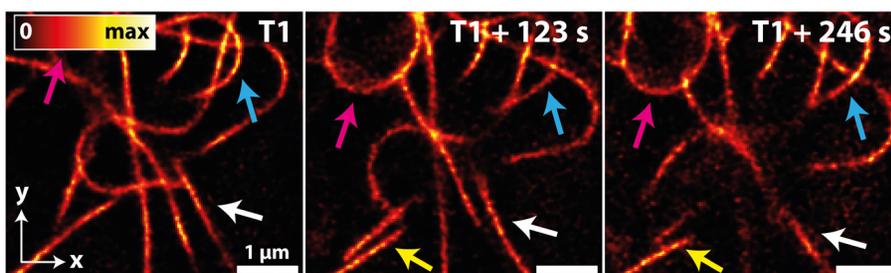
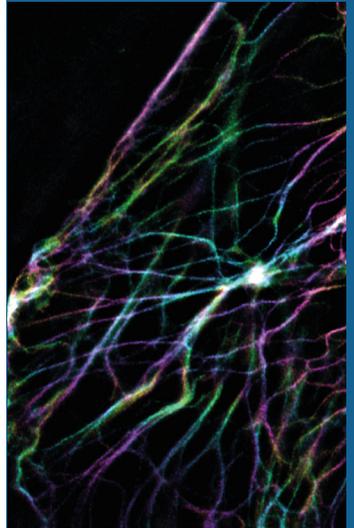
Nanoscopy of dynamic processes in living cells at isotropic resolution

For a fundamental understanding of biological processes it is crucial to analyze the spatial organization and the temporal evolution of smallest structures, more precisely of protein distributions, within living cells. This not only poses high demands on the three-dimensional resolution capability and the acquisition speed of the microscope used, but also requires aberration-free imaging in aqueous cell culture media.

In an isoSTED microscope, an isotropic, spherical light focus is generated by the coherent use of two opposing objective lenses in combination with the STED principle. This focus is scanned through the sample and the detected light is assigned to a volume pixel in order to obtain a super-resolved three-dimensional representation of the sample structure. IsoSTED microscopy offers an isotropic super-resolution of a few tens of nanometers while working with STED microscopy-typical pixel dwell times of only a few tens of microseconds, making it a suitable candidate for fast and isotropic live-cell nanoscopy.

However, the fact that living biological cells have to be examined in aqueous cell culture medium poses a challenge: the structure under investigation is located in between the two objective lenses, so that the entire depth of the aqueous sample is consequently part of the optical beam path. To minimize aberrations, the use of water-immersion objective lenses is essential. Their lower numerical aperture – compared to oil objectives – and thus their lower classical resolution and the optical transition from cover glass to the aqueous embedding medium complicate high-resolution imaging.

We developed an isoSTED microscope optimized for fast imaging in aqueous embedding media. As an example of the versatility of this microscope, the movement of microtubules in living cells was recorded in time-lapse measurements with an isotropic resolution better than 60 nm. In addition, measurements of cells on aqueous gels, whose elasticity corresponds to that of the extracellular matrix, demonstrate that isoSTED microscopy is feasible under physiological conditions.



isoSTED-Zeitrafferaufnahme des Mikrotubuli-Netzwerks in lebenden Fibroblasten. Zu sehen ist ein Ausschnitt einer x-y-Ebene zu drei verschiedenen Zeiten. Es wird deutlich, dass sich die Filamente nicht nur in lateraler Richtung (weiße und pinke Pfeile) verändern, sondern dass sie sich auch axial in die Bildebene hinein bzw. aus ihr heraus bewegen (gelbe und blaue Pfeile).

isoSTED time lapse measurement of the microtubule network in living fibroblasts. Shown is a section of an x-y plane at three different points in time. It can be seen that the filaments not only change in the lateral direction (white and pink arrows), but also move axially out of and into the field of view (yellow and blue arrows).

Optische Nanoskopie

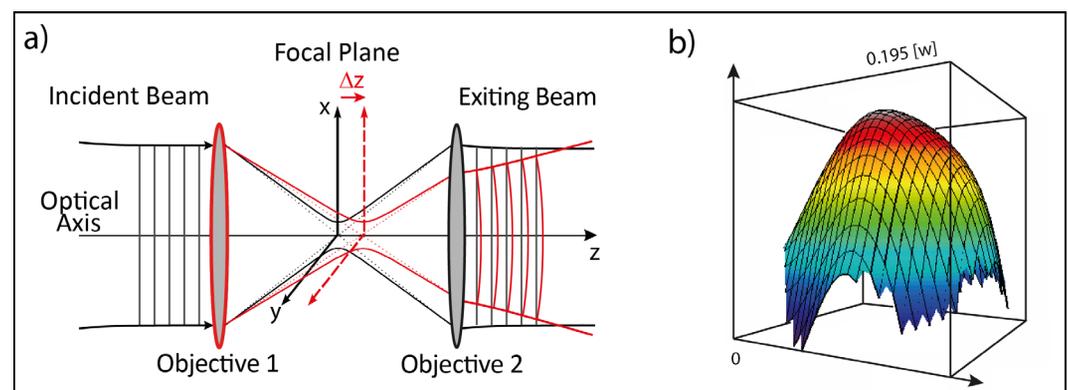
Optical Nanoscopy

Analyse von laserinduzierten Aberrationen in Mikroskopobjektiven

Hochauflösende Mikroskopie ermöglicht Aufnahmen von fixierten und lebenden Proben mit einer bisher unerreichten Detailgenauigkeit. Die im Vergleich zur konventionellen Mikroskopie deutlich verbesserte Auflösung macht sie jedoch anfälliger für Aberrationen, die die Bildqualität erheblich beeinträchtigen können. Da in der optischen Nanoskopie deutlich höhere Laserleistungen benötigt werden als in der Konfokal- und Weitfeldmikroskopie, untersuchten wir den Einfluss der Laserleistung auf die Abbildungsqualität des Mikroskops. Zu diesem Zweck analysierten wir laserinduzierte Wellenfrontaberrationen in Objektiven für verschiedene nanoskopische Beleuchtungsschemata.

Ein Laserstrahl mit niedriger Intensität und ebener Wellenfront wurde von einer Objektivlinse fokussiert und von einer zweiten Linse gesammelt. Die Austrittspupille des Sammelobjektivs wurde auf einen Hartmann-Shack-Wellenfrontsensor abgebildet, um die Laserwellenfront zu charakterisieren. Das Linsenpaar konnte dann von einem zweiten Laser (Nanoskopielaser), der eine Leistung von bis zu 400 mW hatte und vor dem Sensor geblockt wurde, beleuchtet werden.

Bei Beleuchtung mit dem Nanoskopielaser nahmen die Aberrationen zu, wobei der dominierende Effekt hierbei die Defokussierung war. Die maximale Amplitude dieser Aberration war proportional zur angewandten Nanoskopielaserleistung und wurde nach Einschalten des Lasers mit einer Zeitkonstante in der Größenordnung von mehreren Minuten erreicht. Daraus folgt, dass Laserleistungen, die typischerweise in der optischen Nanoskopie eingesetzt werden, bei der Bildaufnahme Defokussierungen bis zu mehreren hundert Nanometer verursachen. Wir zeigten außerdem, dass die Defokus-Amplitude proportional zur Temperatur an der Oberfläche des Objektivs ist und dass ihr zeitliches Verhalten gut durch die Wärmeübertragungsgleichung von thermisch dünnen Körpern beschrieben werden kann. Wir kamen daher zu dem Schluss, dass die Defokussierung durch die thermische Ausdehnung des Objektivs induziert wird und durch eine Temperaturstabilisierung kompensiert werden kann.



(a) Experimentelle Umsetzung der Wellenfrontmessung. Ein axial verschobener Fokus führt zu einer defokussierten Wellenfront (rot). (b) Beispiel einer defokussierten Wellenfront.

(a) Experimental implementation of the wavefront measurement. An axially-shifted focus results in a defocused wavefront (red). (b) Example of a defocused wavefront.

Optische Nanoskopie

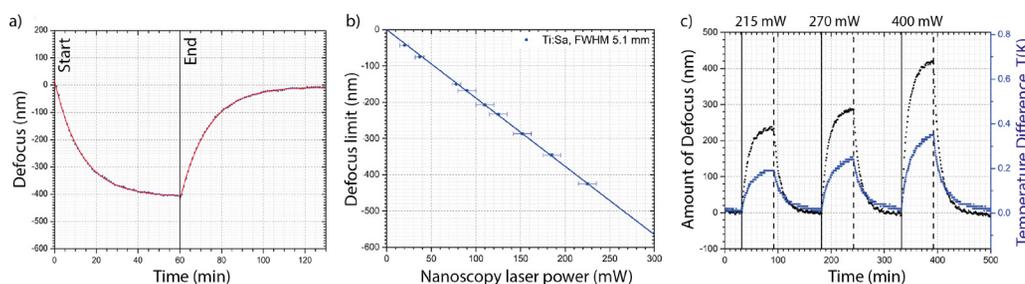
Optical Nanoscopy

Analysis of laser-induced aberrations in objective lenses

Super-resolution microscopy allows imaging in fixed and living samples with unprecedented detail level. However, its greatly improved resolution compared to conventional microscopy renders it more susceptible to aberrations, which can severely impair the image quality. Since significantly higher laser powers are needed in optical nanoscopy than in confocal and widefield microscopy, we investigated the influence of the laser power on the imaging quality of the microscope. For this purpose, we analyzed laser-induced wavefront aberrations in objective lenses for different nanoscopy illumination schemes.

A low-intensity probe laser beam with a plane wavefront was focused by an objective lens and collected by a second lens. The back pupil of the collecting lens was imaged onto a Hartmann-Shack wavefront sensor in order to characterize the laser's wavefront. The objective lens pair could then be illuminated by a second laser beam (nanoscopy laser) with tunable power up to 400 mW, which was blocked before the sensor.

Upon illumination with the nanoscopy laser, the aberrations increase, highly dominated by the defocus aberration. The maximum amplitude of this aberration was proportional to the applied nanoscopy laser power and was reached with a time constant in the order of several minutes after switching on the laser. It follows that laser powers that are typically used in optical nanoscopy imaging schemes introduce up to several 100 nm defocus during image acquisition. We further showed that the defocus amplitude is proportional to the temperature at the objective lens surface and that its time-dependent behavior can be well described by the heat transfer equation of thermal thin bodies. We therefore concluded that the defocus is induced by thermal expansion of the objective lens and that it may be compensated by temperature stabilization.



(a) Zeitliches Verhalten der Defokus-Amplitude während und nach der Beleuchtung mit dem Nanoskopieler. (b) Die maximale Amplitude konvergiert bis zu einem Grenzwert, der proportional zur angelegten Laserleistung ist. (c) Die Defokus-Amplitude steht in direktem Zusammenhang mit der Temperaturänderung an der Objektivoberfläche.

(a) Time-dependent behavior of the defocus amplitude during and after illumination with the nanoscopy laser. (b) The maximum amplitude converges to a limit that is proportional to the applied laser power. (c) The defocus amplitude is directly related to the temperature change at the objective lens' surface.

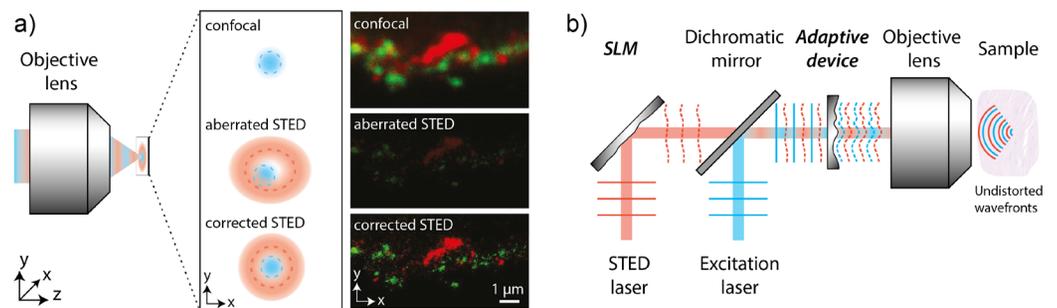
Optische Nanoskopie

Optical Nanoscopy

Schnelle Aberrationskorrektur für die STED-Mikroskopie

Der Trend in der biomedizinischen Forschung hin zu minimalinvasiver Probenpräparation, zum Beispiel für die Untersuchung von Gewebeschnitten oder Modellorganismen, stellt eine immer größer werdende Herausforderung dar, denn probeninduzierte Aberrationen können die Bildqualität signifikant beeinträchtigen und sogar hochauflösende Fluoreszenzmikroskopie unmöglich machen. Die adaptive Optik (AO) ist ein vielversprechendes Werkzeug zur Aberrationskorrektur in der Mikroskopie und Nanoskopie, allerdings ist hierfür entweder eine direkte Messung der Wellenfront nötig oder das detektierte Fluoreszenzsignal selbst muss analysiert und hieraus eine geeignete Maßzahl abgeleitet werden. Bisher wurden Bildeigenschaften wie Helligkeit und Schärfe für eine solche Metrik verwendet, was wiederholte Bildaufnahmen erfordert. Dieser Ansatz ist daher langsam und führt zu einem verstärkten Photobleichen, was nicht nur Fehler bei der Aberrationskorrektur, sondern auch eine stark reduzierte Bildhelligkeit verursachen kann.

Statt eine Bildmetrik für die AO-basierte Aberrationskorrektur zu verwenden, analysieren wir den Fluoreszenz-Photonenstrom und nutzen dabei die Tatsache aus, dass die Fluoreszenzlebensdauer von der lokalen STED-Intensität abhängt. Die hieraus abgeleitete photonenstrombasierte Metrik ist unabhängig von Probeneigenschaften wie Struktur und Helligkeit. Daher kann die Aberrationskorrektur schnell, insbesondere kontinuierlich und ortsabhängig während der STED-Bilderfassung durchgeführt werden, wobei das begrenzte Budget an Fluoreszenzphotonen effizient genutzt wird. Infolge eines gemeinsamen Projekts hat die Mikroskopie-Firma Abberior Instruments ein Modul für adaptive Optik in ihr STED-Mikroskopie-Produktportfolio aufgenommen. Mögliche Anwendungen umfassen nicht nur die Abbildung tief aus dem Inneren inhomogener Proben, sondern auch die Erweiterung der Arbeitstiefe von Objektiven in brechungsindex-fehlangepassten Proben.



▲ (a) Schema der Auswirkungen von Aberrationen auf die Bildqualität. Fokale Intensitätsverteilung des Anregungs- und des STED-Lichts (links) und resultierende Bildqualität (rechts). (b) Adaptive Elemente im Strahlengang korrigieren die probeninduzierten Aberrationen, so dass die Wellenfronten in der Probe nicht gestört sind und eine optimale Bildqualität erreicht werden kann.

(a) Schematic of the effects of aberrations on the image quality. Focal intensity distribution of the excitation and the STED light (left) and resulting image quality (right). (b) Adaptive elements in the beam path compensate sample-induced aberrations so that the wavefronts in the sample are not distorted and the optimal image quality can be achieved.

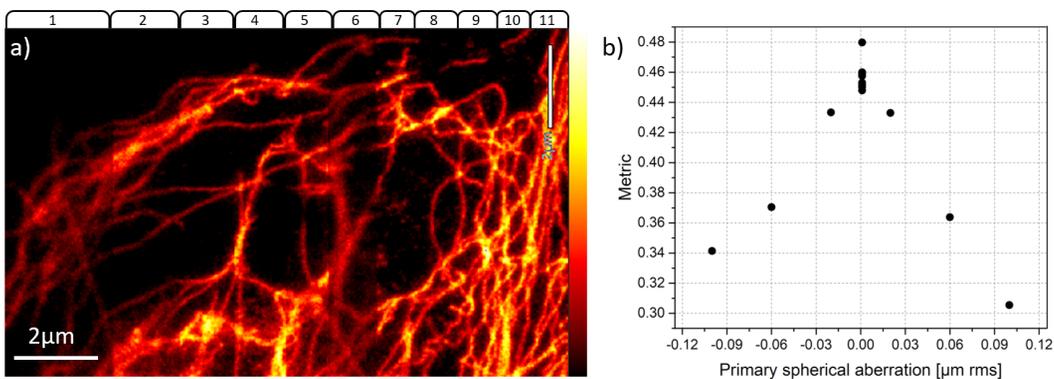
Optische Nanoskopie

Optical Nanoscopy

Fast aberration correction for STED microscopy

The trend in biomedical research towards minimally invasive sample preparation, e. g. for investigation of tissue sections or model organisms, poses an increasing challenge, since sample-induced aberrations can severely impair the image quality or even make high-resolution microscopy impossible. Adaptive optics (AO) is a promising tool for aberration correction in microscopy and nanoscopy. However, it either requires direct measurement of the laser's wavefront or, preferably, the detected fluorescence signal itself must be analyzed and a suitable metric thereof derived. Up to now, image properties such as brightness and sharpness have been used for such a metric, which requires repeated image recordings. This approach is therefore slow and leads to increased photobleaching, which can cause not only errors in the aberration correction, but also a greatly reduced image brightness.

Instead of using an image metric for AO-based aberration correction, we analyze the fluorescence photon stream and hereby exploit the fact that the fluorescence lifetime depends on the local STED intensity. This photon stream-based metric is independent of sample properties like structure and brightness. Therefore, aberration correction can be performed fast, in particular continuously and location independent during the STED image acquisition, while making efficient use of the limited fluorescence photon budget. As a result of a joint project, the microscopy company Abbeior Instruments introduced an adaptive optics module into their STED microscopy product portfolio. Potential applications not only include imaging deep into inhomogeneous samples, but also extending the working depth of objective lenses in refractive-index mismatched samples.



Automatische Aberrationskorrektur mit Hilfe der photonenstrom-basierten Metrik. (a) STED-Bild des Vimentinnetzwerks zeigt von links nach rechts die schrittweise Optimierung. Die Klammern markieren die einzelnen Iterationsschritte, die zur besseren Visualisierung länger als nötig gewählt wurden. (b) Die entsprechenden Metrikwerte zeigen ein Maximum für die optimale Bildqualität.

Automatic aberration correction with the photon stream-based metric. (a) STED image of vimentin network illustrates from left to right the stepwise optimization. The brackets mark the individual iteration steps which were selected longer than necessary for better visualization. (b) The corresponding metric values show a maximum for optimal aberration strength.

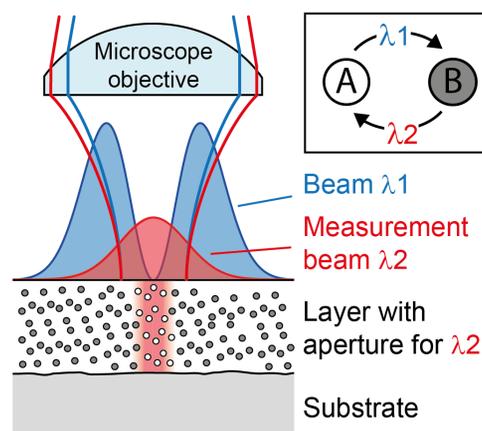
Optische Nanoskopie

Optical Nanoscopy

Reflektionsnanoskopie mittels Absorptionsmodulation

Moderne Materialien verfügen über hervorragende Festigkeit und Elastizität, was bei Metallen beispielsweise durch geringe Korngrößen weit unter einem Mikrometer bei einer entsprechenden chemischen Zusammensetzung erreicht wird. Aufgrund der Beugungsgrenze reicht das Auflösungsvermögen optischer Mikroskope für die Analyse solcher Metalllegierungen nicht aus, so dass auf aufwändigere und kostspieligere Mikroskopiemethoden, wie z. B. die Rasterelektronenmikroskopie, zurückgegriffen werden muss. Um die Auflösung der optischen Mikroskope bei Werkstoffuntersuchungen zu steigern, kann das STED-Prinzip nicht direkt angewendet werden, weil die Werkstoffstruktur auf der Oberfläche nicht mit Farbstoffen markiert werden kann. Aus der optischen Lithographie ist jedoch bekannt, dass mit Hilfe von photochromen Dünnschichten, die unter Bestrahlung ihre Absorptionseigenschaften reversibel ändern, eine Auflösungsverbesserung erreicht werden kann. Diese wurde bereits für die Transmissionsmikroskopie theoretisch und experimentell bestätigt, jedoch nicht für die hier notwendige Messung in Reflexion.

In Zusammenarbeit mit der TU Clausthal haben wir anhand von Simulationen die Auflösungsverbesserung und Bildqualität untersucht, die mit Hilfe von Absorptionsmodulation bei reflektionsmikroskopischen Messungen erreicht werden können. Dazu wurde angenommen, dass die zu untersuchende Werkstoffoberfläche mit einer dünnen photochromen Schicht versehen ist. Mit einem ringförmigen Fokus eines Lasers bestimmter Wellenlänge wird die Schicht für einen Messlaser anderer Wellenlänge absorbierend geschaltet. Im Zentrum des Rings bildet sich so ein transparenter enger Kanal für den Messlaser aus. Da die Schicht wieder transparent geschaltet werden kann, kann diese Apertur gelöscht und an anderer Stelle neu erzeugt werden und so können die optischen Eigenschaften der Werkstoffoberfläche in einem ausgedehnten Bildfeld analysiert werden. In unseren Simulationen haben wir sowohl die Photokinetik der Blendenerzeugung als auch die Lichtpropagation durch den Subwellenlängen-Kanal in Hin- und Rückrichtung berücksichtigt. Wir konnten zeigen, dass die experimentelle Umsetzung dieses Konzepts möglich und eine Verbesserung der Auflösung um einen Faktor fünf realistisch ist.



Schema zur Erzeugung einer dynamischen Blende in einer dünnen photochromen Schicht. Licht der Wellenlänge λ_1 (blau) schaltet das Photochrom (Kreis) von einem für die Messwellenlänge λ_2 (rot) transparenten Zustand A in einen für λ_2 opaken Zustand B. Das Rückschalten wird durch die Messwellenlänge λ_2 verursacht.

Scheme for the generation of a dynamic aperture in a thin photochromic layer. Light with wavelength λ_1 (blue) switches the photochromic molecule (circle) from state A, which is transparent for the measurement wavelength λ_2 (red), into state B, which is opaque for λ_2 . The reverse transition is induced by the measurement wavelength λ_2 .

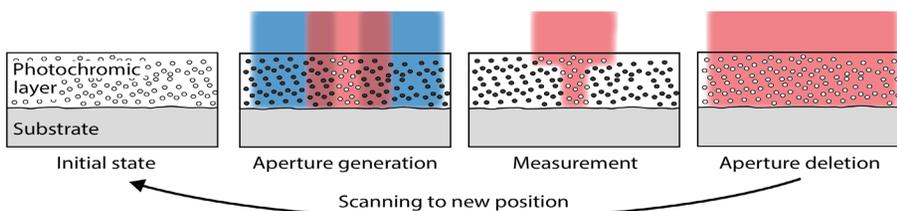
Optische Nanoskopie

Optical Nanoscopy

Absorbance modulation-based reflection nanoscopy

Modern materials have excellent strength and elasticity. In the case of metals, this is achieved, for example, by small grain sizes well below one micrometer with an appropriate chemical composition. Due to the diffraction limit, the resolution capability of optical microscopes is not sufficient for investigating such metal alloys, which is why more complex and costly microscopy methods, like scanning electron microscopy, are used. In order to improve the resolution of optical microscopes for material analysis, the STED principle cannot be applied directly, because the material structure on the surface can not be labelled with fluorescent markers. However, it is known from optical lithography that an increase in resolution can be achieved with the aid of photochromic thin films which reversibly change their absorption properties under irradiation. This has already been theoretically and experimentally confirmed for transmission microscopy, but not for the reflection measurements required here.

In cooperation with Clausthal University of Technology we performed simulations to investigate the resolution improvement and image quality that can be achieved by means of absorbance modulation in reflection microscopy measurements. For this purpose, it was assumed that the surface under investigation is coated with a thin photochromic layer. With a ring-shaped focus of a laser of a certain wavelength, the layer is switched opaque for a measurement laser of another wavelength. Thus, a transparent narrow channel for the measurement laser is generated in the center of the ring. Since the layer can be switched transparent again, this aperture can be deleted and generated again at another position and thus the optical properties of the material surface can be analyzed for an extended field of view. For our simulations, we have taken into account not only the photokinetics of aperture generation but also the light propagation through the subwavelength channel in both directions. We were able to show that the experimental implementation of this concept is feasible and a resolution improvement by a factor of five is realistic.



▲ Prinzip der Reflektionsnanoskopie mittels Absorptionsmodulation. Ein hochaufgelöstes Bild wird erzeugt, indem eine enge Blende an einer definierten Stelle erzeugt, das reflektierte Messlicht detektiert und die Blende wieder gelöscht wird. Die Werkstoffoberfläche wird dann an eine neue Position bewegt, wo die Sequenz erneut beginnt.

Principle of absorbance modulation-based reflection nanoscopy. A superresolved image is acquired by generating the aperture at a defined location, collecting the reflected measurement light and erasing the aperture again. The sample is then scanned to a new position, where the sequence starts again.

Berichte aus der Abteilung
Departmental Reports



Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

Laserablation und Lasermodifikation sind Schlüsseltechnologien zur Erzeugung von mikro- und nanostrukturierten funktionalen Oberflächen, die vielfältige Einsatzmöglichkeiten in mikrofluidischen, tribologischen, medizintechnischen oder optischen Anwendungen haben. Mittels Maskenprojektion oder interferenzbasierter Strahlmanipulation wird bei geeigneter Laserwellenlänge und Pulsdauer sub- μm -Präzision erreicht. Strukturdetails mit Abmessungen im Bereich 50 nm sind realisierbar. Dabei gewinnt der Einsatz ultrakurzer Pulse im Piko- und Femtosekundenbereich in immer mehr Anwendungsgebieten zunehmend an Bedeutung. Mittlerweile sind kompakte, industrietaugliche Ultrakurzpulslaser verfügbar. Für die Effizienzsteigerung in bestehenden und für die Erschließung neuer Anwendungen ist die Weiterentwicklung ultrakurzpulsbasierter Techniken unabdingbar. Dabei stehen die Erzeugung leistungsstarker ultrakurzer Pulse sowie die Erzeugung von periodischen Nanostrukturen auf technischen Oberflächen im Mittelpunkt.

Aktuelle Themen sind die Erzeugung ultrakurzer Pulse mit hoher mittlerer Leistung in gasgefüllten Hohlwellenleitern, die Verwendung dynamischer Strahlformungselemente für die Erzeugung von computergenerierten Hologrammen (CGH) auf Werkstoffoberflächen, die grundlegende Untersuchung der Dynamik der Laserablation mittels ultrakurzer UV-Pulse und die Untersuchung der tribologischen Eigenschaften lasergenerierter Mikrostrukturen. Weitere Arbeiten befassen sich mit der Erzeugung und Anordnung von plasmonischen Nanopartikeln und Silizium-Nanokristallen. Darüber hinaus wird die laserbasierte Herstellung mikrooptischer und mikrofluidischer Komponenten untersucht.

Laser ablation or surface modification are key enabling technologies for the fabrication of micro- and nanostructured surfaces, giving rise to numerous functionalities for fluidic, tribological, medical and optical applications. Beam delivery concepts like mask projection and interference methods allow sub- μm precision if the laser wavelength and the pulse duration are suitably chosen. The fabrication of structural details of the order of 50 nm is possible.

In this field, ultrashort laser pulses are rapidly gaining increasing importance for a range of emerging applications. Today, compact industrial-scale ultrashort pulse laser systems are commercially available. For sustainable growth of this technology field, it is essential to further develop various short pulse-based techniques. We put special emphasis on the generation of high-power ultrashort pulses, and the fabrication of periodic nanostructures on technical surfaces.

Current topics are the generation of ultrashort pulses with high average power using gas-filled hollow fibers, efficient fabrication of computer-generated holograms (CGH) on material surfaces by dynamic beam shaping elements, the study of the ablation dynamics of solid surfaces upon irradiation by ultrashort UV pulses and the study of the tribological properties of laser-generated microstructures. Additional research is focused on the generation and arrangement of plasmonic nanoparticles and silicon nanocrystals. Furthermore, laser-based fabrication of micro-optical elements and microfluidic components is also investigated.



Dr. Peter Simon
Abteilungsleiter

☎ +49-(0) 551/5035-21
☎ +49-(0) 551/5035-99
✉ peter.simon@llg-ev.de

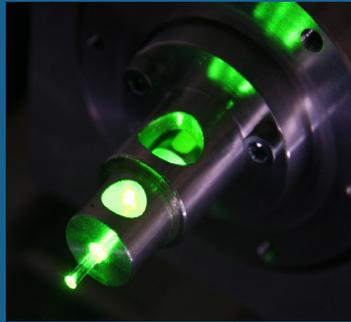
Ansprechpartner
für Nanostruktur-
technologie:
Dr. Jürgen Ihlemann

Mitarbeiter
Staff members

Dr. Andreas Blumenstein
Dr. Jörg Meinertz
Clemens Beckmann
Max Buczek
Frederick Kleinwort
Jan-Hendrik Klein-Wiele
Jens Oltmanns
Lukas Janos Richter
Hendrik Wrigge
Till Schröder

Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

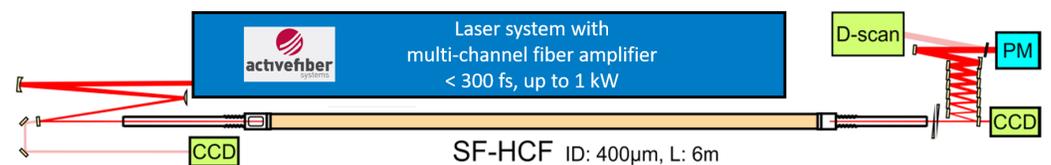


Laserpulse mit wenigen optischen Zyklen: 300-W-Marke überschritten

Unter der Federführung von Laser-Laboratorium Göttingen (LLG), Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie (MBI, Berlin) und Active Fiber Systems GmbH (AFS GmbH, Jena) wurde ein Forschungsprojekt zur Kompression von leistungsstarken Pulsen durchgeführt. Im Rahmen des Vorhabens ist es gelungen, 10 fs lange Pulse mit 3,2 mJ bei 100 kHz, also mit einer Durchschnittsleistung von über 300 W, zu erzeugen. Dieses bahnbrechende Ergebnis wurde durch die Kombination aus zwei führenden Technologien ermöglicht. Im Rahmen einer Laserquellen-Entwicklung für ELI-ALPS, einer europäischen Großforschungseinrichtung in Szeged (Ungarn), verwendet die AFS GmbH die kohärente Kombination von Mehrkanal-Faserverstärkungssystemen für die Erzeugung von Hochleistungspulsen. Dieses System wurde mit der vom LLG und MBI entwickelten gestreckten Hohl-faser-Kompressionstechnologie ergänzt, um unübertroffene Kompression und Kontrolle von Hochleistungspulsen zu ermöglichen (Abb. 1). Die Ergebnisse wurden im Fachjournal Optica als Memorandum veröffentlicht (<https://www.osapublishing.org/optica/abstract.cfm?uri=optica-6-11-1423>).

Die erreichten Weltrekord-Werte markieren einen bahnbrechenden Meilenstein in der Hohl-faser-Kompressionstechnologie und zeigen, dass industrietaugliche Hochleistung-Laserstrahlung in den Pulsdauer-Bereich von wenigen optischen Zyklen vorstoßen kann (Abb. 2).

Dadurch eröffnet sich eine Reihe neuer Möglichkeiten für zukünftige industrielle Anwendungen, z.B. für die parallelisierte Materialbearbeitung mit extrem kurzen Pulsen.



▲
Abb. 1: Experimentelle Anordnung. SF-HCF: Hohl-faser; D-Scan: Dispersion-Scan-Apparatur; PM: Leistungsmessgerät; CCD: Kamera.

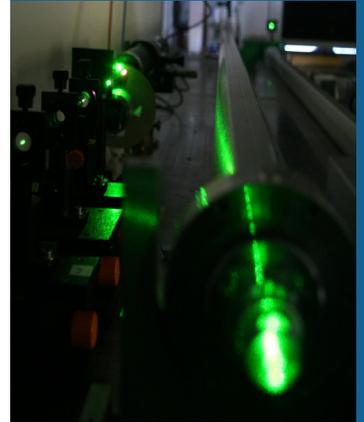
Fig.1 :Experimental layout. SF-HCF: stretched, flexible hollow-core fiber; D-scan: dispersion scan apparatus; PM: Power meter; CCD camera.

Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

Breaking the 300 W barrier with few-cycle laser pulses

Under the leadership of researchers from the Laser-Laboratorium Göttingen (LLG), the Max Born Institute for Nonlinear Optics and Short Pulse Spectroscopy (MBI, Berlin), and Active Fiber Systems GmbH (AFS GmbH, Jena), the generation of a train of 10 fs pulses, carrying 3.2 mJ at a repetition rate of 100 kHz, delivering an average power of over 300 W was achieved. This groundbreaking result was made possible by combining two leading technologies. A laser system, currently under development at AFS GmbH for the major European laser facility ELI-ALPS in Szeged, Hungary, uses the coherently combined multichannel fiber amplifier technology to generate high-power pulses. This system was then complemented by the stretched, flexible hollow-fiber compression technology, developed by LLG and MBI, to obtain record-breaking compression and control of high-power pulses (Fig. 1). The results were published in *Optica* as a memorandum (<https://www.osapublishing.org/optica/abstract.cfm?uri=optica-6-11-1423>).



The achieved world record values constitute a major breakthrough of the hollow-fiber compression scheme, indicating that industry-grade high-power laser radiation can reach the few-cycle regime (Fig. 2).

This new possibility will open up a series of new industrial applications, e.g. in highly parallelized material processing with extremely short pulses.

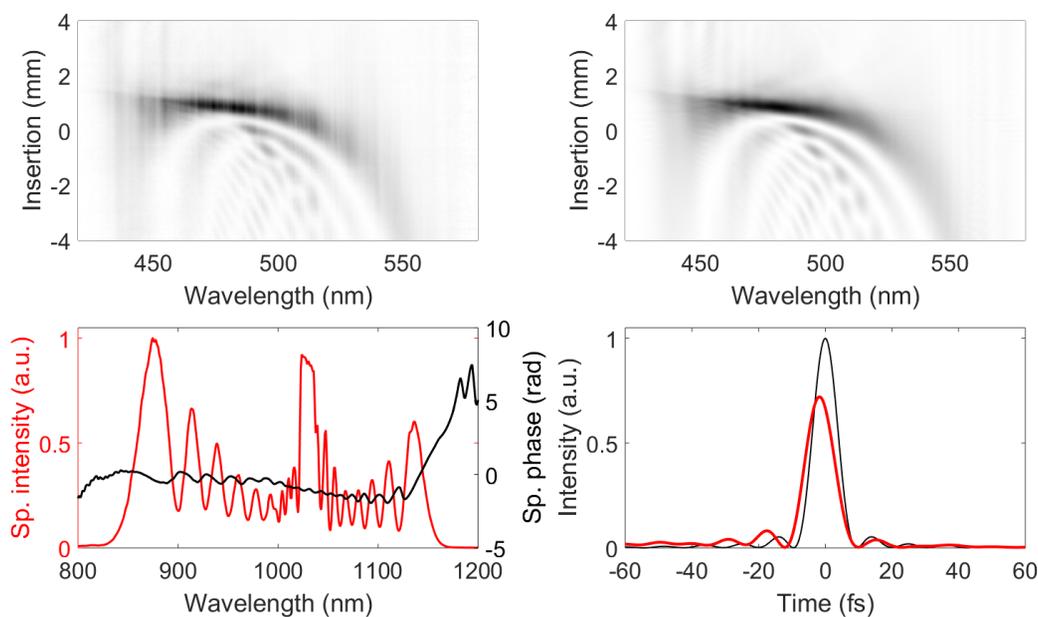


Abb. 2: D-Scan-Messung von 10-fs-Pulsen mit einer Durchschnittsleistung von > 300 W.

Fig. 2: Dispersion scan measurement of 10 fs pulses at an average power of > 300 W.

Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

Hochaufgelöste, parallelisierte Laser-Direktstrukturierung zur Erzeugung individualisierter computergenerierter Hologramme auf Metallen und Halbleitern

Der Schutz und die Nachverfolgbarkeit von Originalprodukten besitzen nach wie vor eine sehr große wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung. Sie erfordern individualisierbare, maschinenlesbare Markierungen, die einen zunehmenden Informationsgehalt transportieren müssen und hinreichend beschädigungsresistent sind. Vor allem bei der Direktmarkierung von Metallbauteilen stoßen die bisher gebräuchlichen Data Matrix bzw. QR-Codes zunehmend an ihre Grenzen. Sie besitzen einen nur beschränkten Informationsgehalt pro Fläche und sind nur begrenzt resistent gegenüber Beschädigungen. Zudem müssen sie direkt durch eine optische Abbildung der Oberfläche ausgelesen werden und lassen sich daher kaum miniaturisieren. Eine Alternative stellen computergenerierte Hologramme (CGH) dar, die eine hohe Informationsdichte pro Fläche beinhalten, eine hohe Resistenz gegen Beschädigungen aufweisen und auch bei starker Miniaturisierung sehr kostengünstig und zuverlässig ausgelesen werden können. Geeignete Markierungssysteme sind am Markt allerdings nicht erhältlich.

In einem vom BMWi geförderten Kooperationsprojekt wird am LLG daher eine Beschriftungstechnologie entwickelt, mit der sich CGH auf Metallen und Halbleitern direkt und für jedes Werkstück individualisierbar mit hoher Qualität und mit industrietauglicher Geschwindigkeit schreiben lassen.

Angestrebt wurden dabei:

- eine Gesamtfläche des Merkmals von ca. 1 mm^2
- eine Pixelgröße im μm -Bereich
- eine Schreibgeschwindigkeit von größer 1 mm^2 pro Sekunde

Diese Parameter konnten inzwischen erreicht bzw. deutlich übertroffen werden. So kann aktuell ein Merkmal mit einer Gesamtfläche von $1,1 \text{ mm}^2$ und einer Pixelgröße von $3 \mu\text{m}$ in weniger als 1,1 Sekunden geschrieben werden.

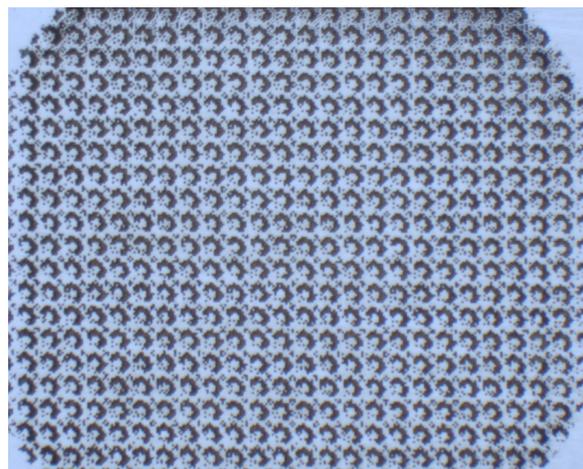


Abb. 1: Lasergeschriebenes CGH auf Edelstahl mit einer Fläche von $1,1 \text{ mm}^2$.

Fig. 1: Laser-written CGH on stainless steel with an area of 1.1 mm^2 .

Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

High-resolution, parallelized laser direct structuring for the generation of individualized computer-generated holograms on metals and semi-conductors

The protection and traceability of original products are still of great economic and social importance. They require customizable, machine-readable markings that have to convey increasing information content and are sufficiently resistant to damage. Especially when it comes to direct marking of metal components, the data matrix and QR codes that were previously used are approaching their limits. They have only a limited amount of information per area and are only resistant to damage to a limited extent. In addition, they have to be read out directly by means of an optical image of the surface and can therefore hardly be miniaturized. An alternative are computer-generated holograms (CGH), which contain a high information density per area, have a high resistance to damage and can be read out very cost-effectively and reliably even with strong miniaturization. However, suitable marking systems are not yet available on the market.

In a cooperation project funded by the BMWi, a direct laser-writing technology is therefore being developed at LLG with which CGH can be written on metals and semiconductors directly and individually for each workpiece with high quality and at an industrial speed.

The aim was to realize:

- a total area of the feature of approximately 1 mm^2
- a pixel size in the μm range
- a writing speed of more than 1 mm^2 per second

These parameters have meanwhile been reached or significantly exceeded. For example, a feature with a total area of 1.1 mm^2 and a pixel size of $3 \mu\text{m}$ can currently be written in less than 1.1 seconds.

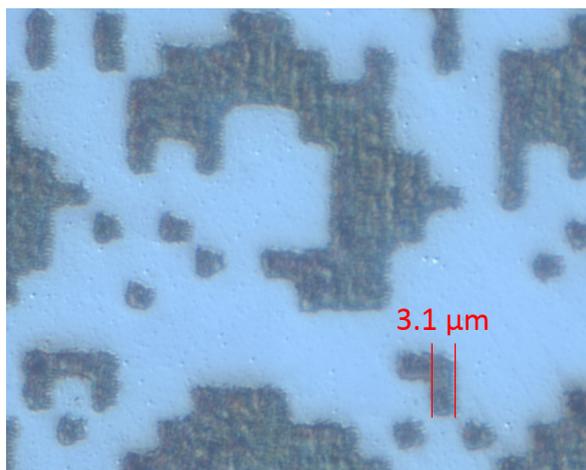
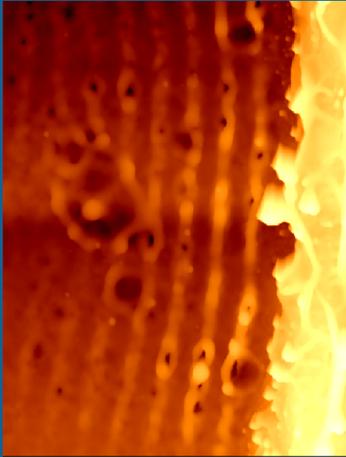


Abb. 2: Detailaufnahme eines lasergeschriebenes CGH mit einer Pixelgröße von $3,1 \mu\text{m}$.

Fig. 2: Detailed picture of a laser-written CGH with a pixel size of $3.1 \mu\text{m}$.

Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures



Laserinduzierte periodische Oberflächenstrukturen

Die Nutzung von periodischen Strukturen zur Veränderung der Eigenschaften von Werkstoffoberflächen ist nach wie vor von großer Relevanz für viele Anwendungen. Eine Möglichkeit, periodische Strukturen zu erzeugen, ist das Bestrahlen der Oberfläche mit Laserlicht, welches dann einen selbstorganisierten Strukturierungsprozess an der Oberfläche auslöst. An Störungen im bestrahlten Bereich können Plasmonen erzeugt werden. Diese können anschließend mit dem noch vorhandenen Laserpuls interferieren und dadurch eine periodische Struktur auf der Oberfläche zurücklassen (Abb. 1). Von diesem Prozess wird angenommen, dass er zur Bildung von laserinduzierten periodischen Oberflächenstrukturen, genannt LIPSS, führt. In einem DFG-Projekt zusammen mit der Universität Kassel und der Technischen Universität Kaiserslautern untersuchen wir die Entstehung derartiger Strukturen auf Goldoberflächen. In einem analytischen Modell wird die Entstehung und Ausbreitung beschrieben. Die Parameter des Modells werden anschließend in einer Molekulardynamik-Zwei-Temperaturen-Modell (MD-TTM)-Rechnung verwendet um eine Simulation des Strukturierungsprozesses zu erhalten. Die Ergebnisse der Simulation werden anschließend mit experimentellen Ergebnissen verglichen. Sowohl die Ergebnisse des analytischen Modells als auch die Simulationen zeigen eine gute Übereinstimmung mit den experimentellen Resultaten, wie in Abbildung 2 zu sehen ist. Damit wurde zum ersten Mal eine vollständige theoretische Beschreibung des Prozesses zusammen mit Simulationen auf atomarer Skala und einem direkten Vergleich zu experimentellen Resultaten demonstriert.

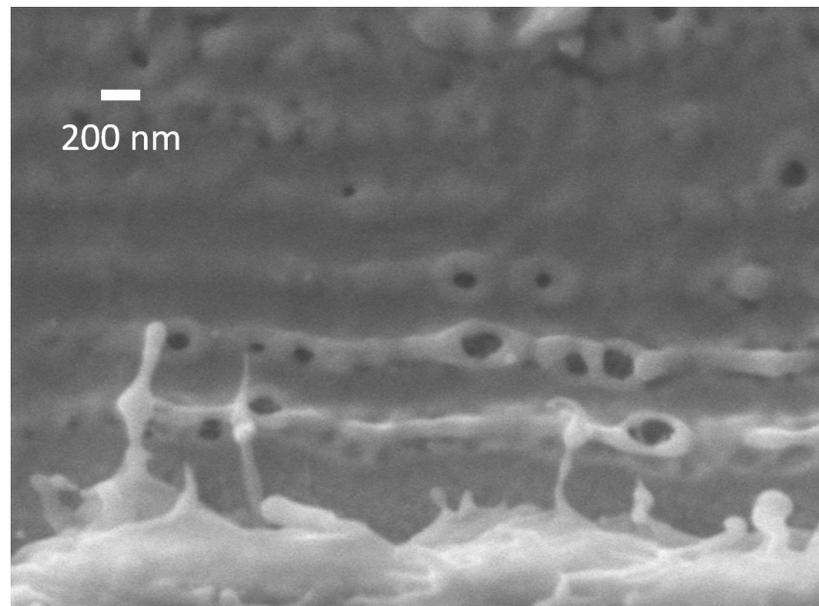


Abb. 1: LIPSS-Strukturen an einer Störung auf einer Goldoberfläche.

Fig. 1: LIPSS structures at a sharp feature on a gold surface.

Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

Laser-induced periodic surface structures

The utilization of periodic structures to change the properties of material surfaces is of great importance in many industrial applications.

One way to produce such surface features is using laser light to cause a self-organized structuring process at a material's surface. At sharp features in the area of illumination, a laser pulse can induce a plasmon. The plasmon can then interfere with the still-ongoing laser pulse and thus form a surface topology given by the interference pattern (Fig. 1). This effect is thought to be the main driving force behind the formation of laser-induced periodic surface structures, named LIPSS. In a DFG project together with the University of Kassel and the Technical University of Kaiserslautern, we investigate the formation of these structures on gold surfaces. An analytic approach is used to describe the creation of the plasmon at an irregularity and its decay while propagating. The output parameters from the analysis are included in a molecular dynamics two-temperature model (MD-TTM) calculation to obtain a simulation of the structuring process. The results are compared with experimental findings. The analytical approach of the plasmon theory and the simulation in the molecular dynamics simulation are in good agreement with the experimental findings as shown in Figure 2. For the first time, a complete theoretical description of the process combined with modeling on atomic scale and direct comparison to experiments has been demonstrated.

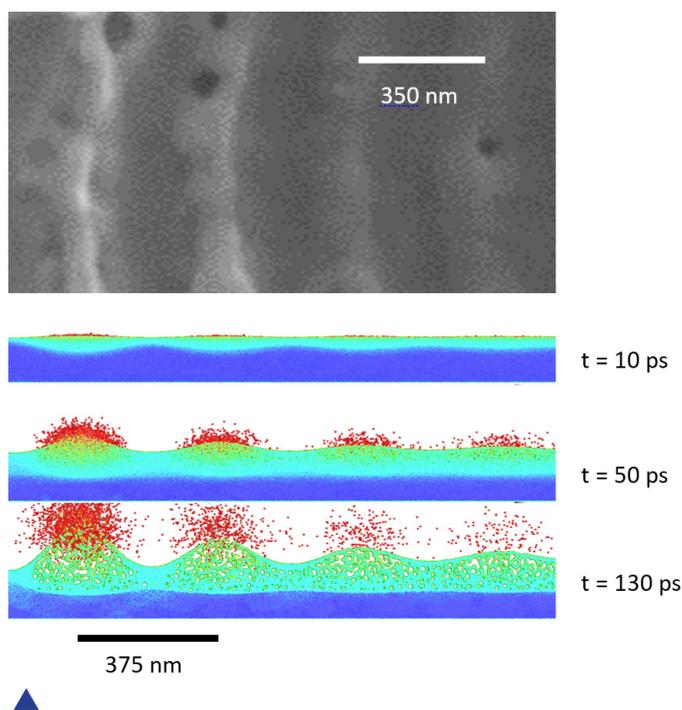


Abb. 2: Vergleich der experimentellen Ergebnisse (oben) mit der Simulation (unten).

Fig. 2: Comparison of the experimental results (top) with the simulation (bottom).

Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

Tribologische Eigenschaften lasergenerierter Mikrostrukturen

Ein wichtiges Arbeitsfeld am LLG ist die Funktionalisierung von Oberflächen verschiedener Materialien durch die Erzeugung periodischer Nano- und Mikrostrukturen mittels Laserablation. Eine Aufgabenstellung dieser Oberflächengestaltung ist die gezielte Veränderung von Reibe- und Abnutzungseigenschaften von Werkstücken, die es erlaubt, in Maschinen mit beweglichen Teilen eine höhere Effizienz zu erreichen.

Einer aktuellen Studie zufolge werden 23% des weltweiten Energiebedarfs verursacht durch tribologische Effekte. Daher ist der Bedarf an optimierten Oberflächen hoch, wobei die tribologische Oberflächenmodifizierung mittels Ultrakurzpulslaser bislang wenig erforscht ist.

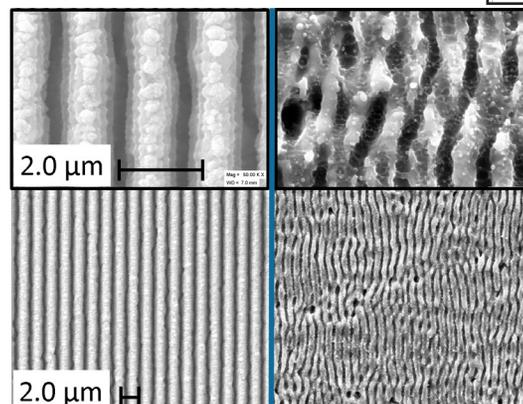
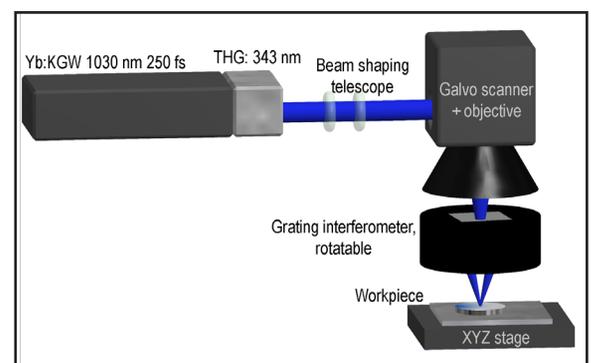
In einer Zusammenarbeit des LLG mit der Arbeitsgruppe Angewandte Lasertechnik und Photonik (AG alp) der Hochschule Aschaffenburg konnten erstmals unterschiedliche Strukturierungsverfahren mittels Ultrakurzpulslaser hinsichtlich der erzeugten tribologischen Eigenschaften direkt miteinander verglichen werden.

Im Rahmen einer Studie wurden tribologische Testscheiben aus Stahl (100Cr6) mit unterschiedlichen, lasergenerierten Strukturen versehen und in einem „Ball-on-Disk (BoD)“-Verfahren tribologisch evaluiert. Dabei wurden Tests mit und ohne Schmiermittel durchgeführt, wobei das Reibungsverhalten des Stahlsubstrats mit zwei verschiedene Materialien (Stahl auf Stahl und Stahl auf Wolframcarbid) untersucht wurde.

Die AG alp übernahm die Strukturierung der Testscheiben mittels LIPSS-Verfahren (Laser-Induced Periodic Surface Structures) sowie die tribologische Testung. Am LLG wurden die Testscheiben mit einem LBIA-Verfahren (Laser Beam Interference Ablation) strukturiert und die Strukturuntersuchungen mittels Rasterelektronen- und Rasterkraftmikroskopie (REM, AFM) durchgeführt.

Aufbau zur diffraktiven Strukturierung der tribologischen Testscheibe aus Stahl am LLG.

Setup for the diffractive structuring of the steel test disc at LLG.



REM-Aufnahmen der LBIA-Strukturen (links) und der LIPPS (rechts).
SEM Images of the LBIA structures (left) and LIPPS (right).

Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

Tribological properties of laser-generated microstructures

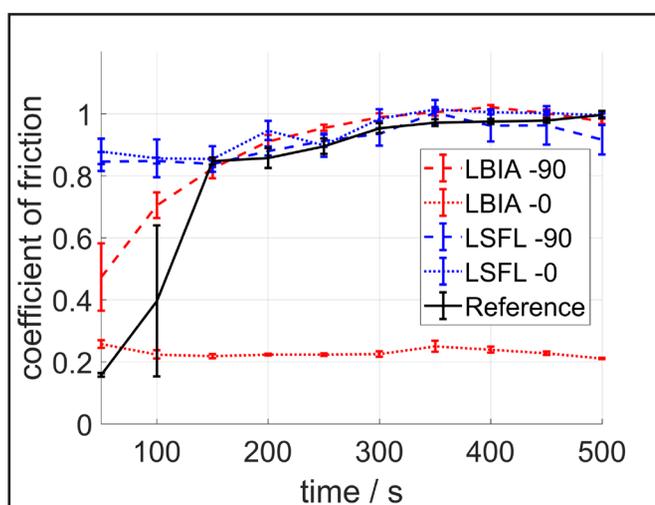
The surface functionalization of different materials with periodic nano- and microstructures through laser ablation is an important field of work at LLG. One task of this kind of surface design is the selective modification of the friction and wear properties of workpieces, which allows greater efficiency for machines with moving parts.

A recent study shows that 23% of the world's energy consumption is caused by tribological effects. Hence, there is a high demand for optimized surfaces. However, tribological surface modification by ultrashort pulsed lasers has not yet been explored.

In a collaboration between LLG and the Applied Laser and Photonics Group (AG alp) at the University of Applied Sciences Aschaffenburg, different structuring methods using ultrashort pulsed laser sources were directly compared regarding their tribological properties for the first time.

Tribological test discs (steel 100Cr6) were provided with different laser-generated structures and tribologically evaluated in a ball-on-disc (BoD) study. The testing of the friction properties of the steel substrate was conducted for two different materials (steel on steel and steel on tungsten carbide) and was measured with and without a lubricant.

The AG alp was responsible for structuring the test discs using the LIPSS method (Laser-Induced Periodic Surface Structures) and for the tribological testing. At LLG the test discs were structured applying an LBIA-method (Laser Beam Interference Ablation) and the different structures were examined using scanning electron and atomic force microscopy (SEM, AFM).



Ergebnis tribologischer Test im zeitlichen Verlauf: trocken, bei einer Belastungskraft von 200 mN, mit Stahl auf Stahl.

Result of the tribological test over time: dry, at a load force of 200 mN, with steel on steel.

Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

Für die Erzeugung der LBIA-Strukturen wurde ein am LLG entwickelter Aufbau zur Laser-Interferenz eingesetzt, dessen Herzstück aus einem Gitterinterferometer und einem industriellen Laserscanner mit fokussierender Optik besteht. Hierdurch wird eine Linienstruktur mit einer Periode von 1,5 μm erzeugt, deren Strukturtiefe über die Laser-/Scanner-Parameter einstellbar ist. Es wurde ein Femtosekunden-Lasersystem bei einer Wellenlänge von 343 nm verwendet.

Für die LIPSS der AG alp kam ebenfalls ein Femtosekunden-Lasersystem zum Einsatz, bei einer Wellenlänge von 1030 nm. Hierdurch werden „Low Spatial Frequency“ LIPSS (LSFL) erzeugt mit einer Periode von ungefähr 900 nm.

Die REM-Untersuchung beider Strukturierungsvarianten zeigt, dass die interferometrisch erzeugten LBIA-Strukturen deutlich gleichmäßiger und homogener sind, als die LIPSS, deren Ausrichtung und Periode statistischen Schwankungen unterliegen. Die AFM-Messungen zeigen eine Gittertiefe von ca. 1,6 μm für die LBIA-Strukturen, wohingegen die LIPSS mit 200 nm deutlich flacher sind.

Die tribologische Untersuchung zeigte einen signifikanten Einfluss der Strukturen auf die Reibungseigenschaften der Stahltestscheibe. Dabei unterscheiden sich nicht nur LIPSS und LBIA-Strukturen voneinander, sondern auch die Ausrichtung der Linien gegenüber der Reiberichtung hat einen Einfluss, genauso wie die Verwendung eines Schmiermittels und die eingestellte Belastungskraft.

Für die LBIA-Strukturen zeigt sich beispielsweise im Test ohne Schmiermittel (trocken), dass bei Reibung senkrecht zu den Gitterlinien (LBIA-90) der Reibungskoeffizient zunächst gegenüber der Referenz erhöht ist und sich dann der Referenz annähert. Bei Reibung entlang der Gitterlinien (LBIA-0) ist hingegen der Reibungskoeffizient nicht nur deutlich geringer als die Referenz, sondern über den betrachteten Zeitraum zudem äußerst konstant. Im Vergleich mit den LIPSS zeigt sich, dass diese einen höheren sowie von der Linienausrichtung unabhängigen Reibungskoeffizienten zeigen, der zeitlich relativ konstant bleibt und zum Ende der Messung etwa der Referenz entspricht.

Für den Fall mit Schmiermittel (Motoröl 5W40) zeigen die lasergenerierten Strukturen ein deutlich anderes Verhalten: Für die LBIA-Strukturen kam es zu einer Erhöhung des Reibungskoeffizienten, unabhängig von der Ausrichtung der Linien. Dahingegen konnte mit den LIPSS für einige Belastungskräfte eine leicht verringerte Reibung gemessen werden.

Weitere tribologische Untersuchungen periodischer Mikrostrukturen sind notwendig, um präzisere Aussagen treffen und die beobachteten Effekte verlässlich erklären zu können. Dazu gehören z.B. die Untersuchung anderer Strukturformen (z.B. gekreuzt) oder unterschiedlicher Strukturturen und -perioden sowie die Verwendung weiterer Schmiermittel.

<https://doi.org/10.3390/lubricants7050043>

Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

For the generation of the LBIA structures, a setup developed at LLG was used comprising a grating interferometer and an industrial laser scanner with a focusing optic. The resulting grating line structure has a periodicity of 1.5 μm and the structural depth can be adjusted through the laser/scanner parameters. A femtosecond laser system with a wavelength of 343 nm was used.

For the LIPSS, the AG alp used a femtosecond laser system at a wavelength of 1.030 μm . The resulting “Low Spatial Frequency“ LIPSS (LSFL) have a periodicity of approximately 900 nm.

SEM images of both structuring methods showed that the interferometrically generated LBIA structures show a higher uniformity and a much more pronounced orientation of the lines than the LIPSS, whose orientation and periodicity varies statistically. AFM measurements showed a structure depth of 1.6 μm for LBIA structures whereas the LIPSS were much shallower with only 200 nm.

The laser-generated structures had a significant influence on the friction properties of the steel disc, as the tribological testing showed. Not only do the LIPSS and LBIA structures differ in their influence, but also the direction of friction with respect to the orientation of the lines has an effect, as well as the use of lubricant and the applied load force.

The tribological test of LBIA structures without lubricant (dry) showed an increased coefficient of friction, which later approximates the reference value for movements perpendicular to the grating lines (LBIA-90). However, for a movement along the grating lines (LBIA-0), the coefficient of friction is not only greatly reduced, but also very constant throughout the observation time.

The comparison with LIPSS shows that these structures have a higher coefficient of friction that is independent from the direction of movement and relatively constant, approximating the reference value towards the end of the measurements. When a lubricant (engine oil 5W50) is used, the laser-generated structures show a different behavior: For LBIA structures the coefficient of friction increased independent of the direction of movement. On the other hand, the LIPSS showed a reduced coefficient of friction for certain load forces.

Further tribological testing of periodic microstructures is necessary in order to make more precise statements and to be able to reliably explain the observed effects. This includes the investigation of additional structural forms (e.g. crossed lines) as well as different structure depths and periods or the use of other lubricants.

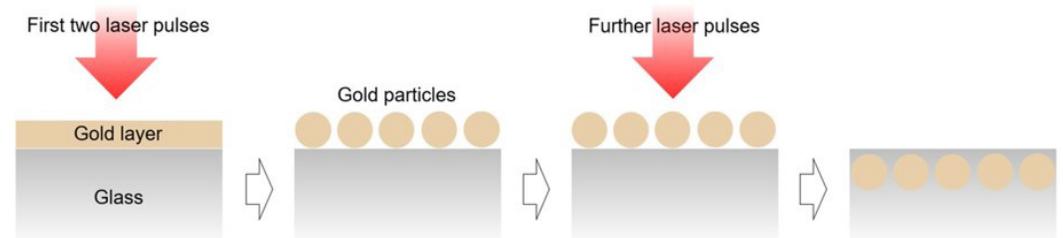
Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

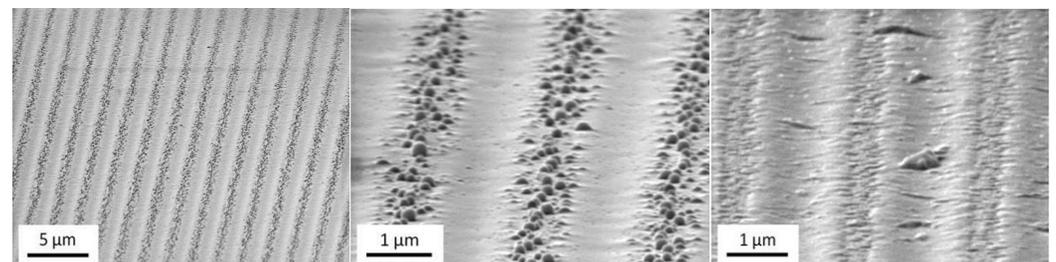
Erzeugung plasmonischer Nanopartikel in Glas

Erzeugung und kontrollierte Anordnung metallischer Nanopartikel sind Grundvoraussetzungen für die Herstellung plasmonischer Komponenten. Silber- und Gold-Nanopartikel in einer Glasmatrix sind besonders interessant, da ihre Plasmonenresonanz (SPR) im sichtbaren Spektralbereich liegt und zahlreiche Anwendungen in Optoelektronik und Nanoplasmonik möglich erscheinen. Typischerweise werden Silbernanopartikel in Kalknatronglas durch Ionenaustausch ($\text{Ag}^+ \leftarrow \text{Na}^+$) und anschließende Wärmebehandlung hergestellt. Diese Methode lässt allerdings keine räumlich kontrollierte Partikelbildung in genau definierten Anordnungen zu. Dies ist erst durch eine räumlich strukturierte Laserbestrahlung möglich.

Da im Fall von Gold die Möglichkeit eines effizienten Ionenaustauschs entfällt, erfolgt hier das Einbringen ins Glas ebenfalls durch einen Laserprozess (Laserimplantation). In Kooperation mit dem Institut für Physik der Universität Halle-Wittenberg wurden dünne Goldfilme auf Glassubstraten mit einem ArF-Excimerlaser (Wellenlänge 193 nm) bestrahlt. Das Bestrahlungsmuster in Form eines Liniengitters mit 2- μm -Periode wird durch Projektion einer Phasenmaske erzeugt. Die ersten Laserpulse führen zur Entzettelung des Goldfilms und der Bildung von Nanopartikeln, die dann mit weiteren Laserpulsen unter die Glasoberfläche implantiert werden. Nach Entfernung des restlichen Goldfilms in den nicht implantierten Bereichen ist ein deutlicher optischer Kontrast zwischen Linien mit starker Plasmonenabsorption der Goldpartikel um 580 nm und transparenten Bereichen messbar.



▲ Laserinduzierte Partikelbildung und -implantation. Die ersten Laserpulse führen zur Bildung von Nanopartikeln, die dann mittels weiterer Laserpulse in die Glasmatrix implantiert werden.
Laser-induced particle formation and implantation. The first pulses lead to nanoparticle formation; further pulses cause implantation of the particles into the glass matrix.



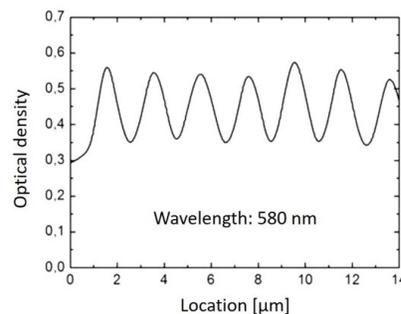
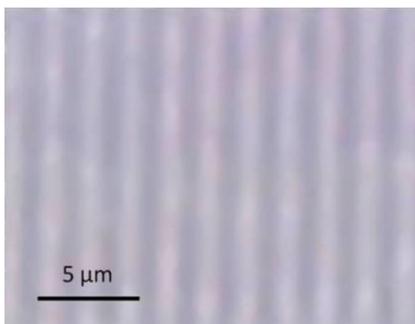
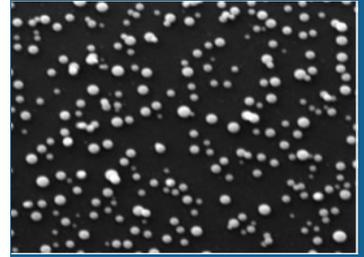
Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

Generation of plasmonic nanoparticles in glass

The generation and controlled arrangement of metallic nanoparticles is very important for the fabrication of plasmonic elements. Silver and gold nanoparticles in glasses are attracting particular attention since the wavelength of their surface plasmon resonance (SPR) is in the visible spectral range, making such materials promising candidates for applications in optoelectronics and nanoplasmonics. Typically, silver nanoparticles in sodium silicate glasses are prepared by an $\text{Ag}^+ \leftarrow \text{Na}^+$ ion exchange process and subsequent thermal treatment. However, this method does not allow nanoscale arrays of particles to be created that are localized in a certain way. This is enabled by spatially structured laser irradiation.

Efficient ion exchange is not possible in the case of gold; therefore, the implantation of gold into the glass is accomplished by a laser process, as well. In collaboration with the Institute of Physics of the University of Halle Wittenberg, thin gold films on glass substrates have been irradiated with an ArF excimer laser (wavelength 193 nm). The irradiation pattern in the form of a line grating with 2 μm period is generated by the projection of a phase mask. The first laser pulses lead to dewetting of the gold film and the formation of nanoparticles, which are then implanted below the glass surface by further pulses. After removal of the residual gold film from the non-irradiated regions, a significant optical contrast between lines with plasmonic absorption around 580 nm and non-absorbing lines is measured.

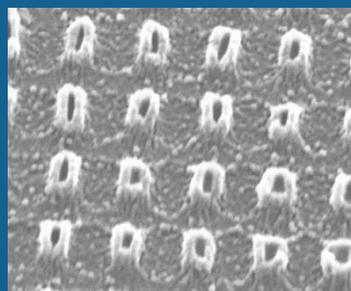


Durch strukturierte Bestrahlung von goldbeschichtetem Glas hergestelltes Linienmuster (links: Mikroskopbild; rechts: optische Absorption bei 580 nm in Abhängigkeit von der Probenposition).
Line pattern obtained by structured irradiation of Au-coated glass (left: microscope image; right: optical absorption at 580 nm versus sample position).

- ◀ Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen eines durch strukturierte Bestrahlung von goldbeschichtetem Glas hergestellten Linienmusters. Oberfläche vor (links, Mitte) und nach (rechts) der Reinigung mit Aceton.
SEM images of a line pattern obtained by structured irradiation of Au-coated glass. Surface before (left, middle) and after (right) cleaning with acetone.

Kurze Pulse / Nanostrukturen

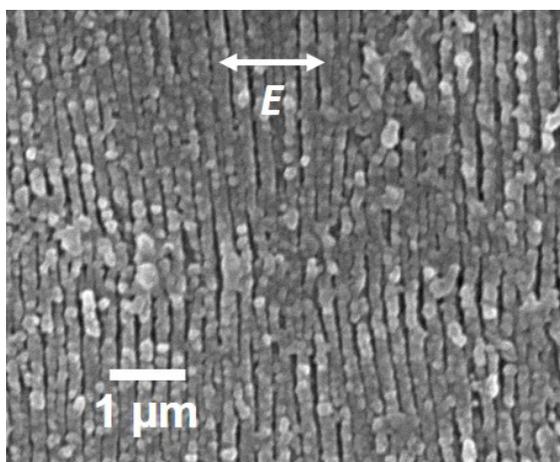
Short Pulses / Nanostructures



Silizium-Suboxid

Silizium-Suboxid (SiO_x , $x < 2$) ist ein vielseitig einsetzbares Material. Wegen seiner starken UV-Absorption kann es mit UV-Lasern präzise strukturiert werden. Durch Oxidation ist es in SiO_2 , also Quarzglas, überführbar, sodass durch eine Kombination von Laserbearbeitung und Oxidation von SiO_x mikrostrukturierte Quarzglasbauteile für Optik, Fluidik und Prozesstechnik hergestellt werden können. Weiterhin können durch eine thermisch oder laserinduzierte Phasenseparation von SiO_x Silizium-Nanokristalle erzeugt werden, die als effiziente Lichtemitter für die Si-Photonik von großem Interesse sind.

Die Erzeugung periodischer Oberflächenstrukturen in SiO_x mit Perioden von 500 nm durch Interferenzstrukturierung wurde von uns bereits gezeigt. Auf vielen Materialien lassen sich periodische Strukturen (so genannte *laser induced periodic surface structures* (LIPSS) oder *ripples*) auch durch unstrukturierte Laserbestrahlung erzeugen. Ihre Entstehung wird auf die Wechselwirkung des eingestrahnten Lichts mit induzierten Oberflächenplasmonen (SPP, *surface plasmon polariton*) zurückgeführt. In Kooperation mit der Arbeitsgruppe von Professor Godai Miyaji an der *Tokyo University of Agriculture and Technology* wurden SiO_x -beschichtete Quarzglasproben mit einem Femtosekundenlaser (800 nm, 100 fs, 750 mJ/cm²) bestrahlt. Es bildet sich eine Oberflächenstruktur mit einer Periodizität von 220-300 nm, also von etwa 1/3 bis 1/4 der Wellenlänge aus. Die Linien sind senkrecht zur Laserpolarisation ausgerichtet. Durch einen zweistufigen Prozess, bei dem zunächst eine deterministische grobe Vorstruktur hergestellt und diese dann mit dem fs-Laser weiter bestrahlt wird, sollte sich die Regelmäßigkeit der Nanostruktur signifikant verbessern lassen.



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer laserinduzierten Ripple-Struktur auf SiO_x , die durch Multipuls-Bestrahlung mit einem Femtosekundenlaser (800 nm, 100 fs, 750 mJ/cm²) hergestellt wurde; mit E ist die Laserpolarisation angegeben.

Scanning electron micrograph of a laser-induced periodic surface pattern on SiO_x obtained by multipulse irradiation with a femtosecond laser (800 nm, 100 fs, 750 mJ/cm²), E denotes the polarization direction of the laser.

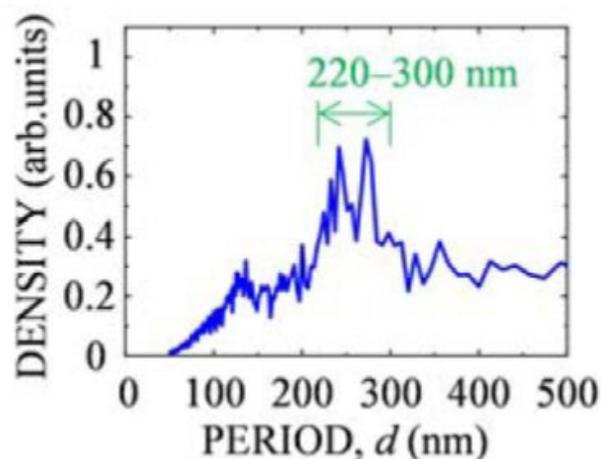
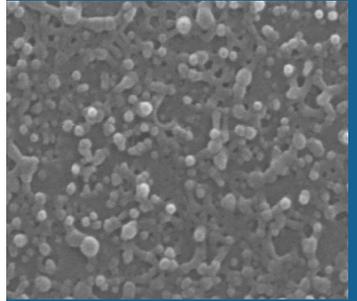
Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

Silicon suboxide

Silicon suboxide is a versatilely applicable material. Due to its strong UV absorption, it can be patterned precisely using UV laser ablation. By oxidation it can be converted into SiO_2 , so that by a combination of laser processing and oxidation of SiO_x , components of fused silica for applications in optics, fluidics, and process technology can be fabricated. Furthermore, by thermally or laser-induced phase separation of SiO_x , silicon nanocrystals can be generated, which are efficient light emitters and therefore of great interest in silicon photonics.

The generation of periodic surface structures in SiO_x with periods of about 500 nm by interference patterning has already been demonstrated by us. On many materials, quasiperiodic patterns (so-called laser-induced periodic surface structures (LIPSS) or ripples) can be obtained by unstructured laser irradiation. Their development is often explained by interaction of the incoming light with laser-induced surface plasmon polaritons (SPP). In cooperation with the group of Professor Godai Miyaji at Tokyo University of Agriculture and Technology, SiO_x coated fused silica samples have been irradiated with a femtosecond laser (800 nm, 100 fs, 750 mJ/cm²). As a result, a surface structure with a period of 220-300 nm, that means about 1/3 to 1/4 of the laser wavelength, is obtained. The grating lines are oriented perpendicular to the laser polarization. By applying a two-step process, where initially a deterministic coarse prestructure is fabricated, which is then further irradiated with the femtosecond laser, a better regularity of the nanograting should be achievable.



▲
Raumfrequenz-Spektrum der Ripple-Struktur; Perioden im Bereich 220-300 nm sind vorherrschend.

Frequency spectrum of the ripple structure; periods in the range 220-300 nm are dominant.

Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

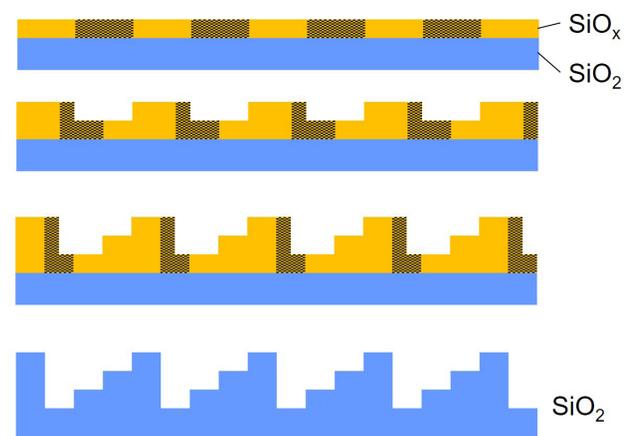


Laserbasierte Herstellung von Mikrooptik

Mikrooptische Komponenten aus Glas wie Mikrolinsen, Gitter oder diffraktive Elemente können durch direkte Bearbeitung des Glasmaterials mittels Laserablation hergestellt werden. Eine Alternative dazu bildet die Bearbeitung einer Vorstufe des Glasmaterials und die nachgelagerte Umwandlung in die für die Anwendung benötigte Endqualität.

Dünne Schichten aus UV-absorbierendem Silizium-Suboxid (SiO_x , $x \approx 1$) werden durch Excimerlaserablation strukturiert und anschließend durch eine thermische Behandlung zu Siliziumdioxid (Quarzglas) oxidiert. Dieser zweistufige Prozess erlaubt die Herstellung mikrostrukturierter Komponenten aus reinem Quarzglas. Binäre (zweistufige) diffraktive Phasenelemente werden durch die strukturierte Ablation eines SiO_x -Films auf einem Quarzglassubstrat mit anschließender Oxidation hergestellt. Derartige Phasenelemente werden als Projektionsmasken für die präzise Lasermikromaterialbearbeitung oder für die strukturierte Beleuchtung in der hochauflösenden Mikroskopie eingesetzt.

Mehrstufige Elemente ermöglichen gegenüber zweistufigen mehr Designflexibilität und signifikant höhere Beugungseffizienzen. Für die Herstellung mehrstufiger Elemente wird die Prozesskombination aus Beschichtung und Laserstrukturierung mehrfach wiederholt und am Ende die Oxidation zu SiO_2 durchgeführt. Ein diffraktives Phasenelement in Form eines dreistufigen linearen Phasengitters weist bereits eine Beugungseffizienz von über 60% in der +1 Beugungsordnung auf, bei vier Stufen sind es bereits 80%. Die Oberflächenqualität ist dabei sehr gut, auf den einzelnen Stufen wird eine Oberflächenrauheit von $R_a \approx 3$ nm erreicht.



▲ Ablaufschema der Herstellung einer vierstufigen Phasenmaske. Alternierend wird jeweils eine SiO_x -Schicht aufgedampft und die schraffierten Bereiche durch Ablation entfernt. Anschließend erfolgt die thermische Oxidation.

Flowchart of the fabrication of a four-level phase mask. Alternating, SiO_x films are deposited and the shaded regions are removed by ablation. The final fused silica component is obtained by thermal oxidation.

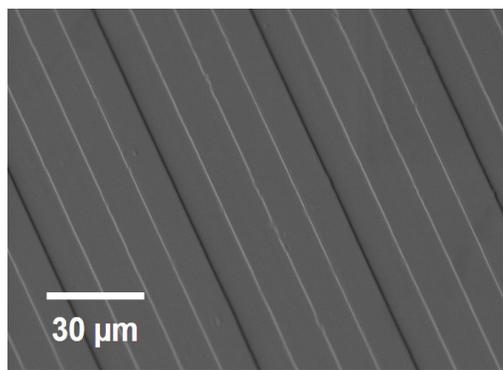
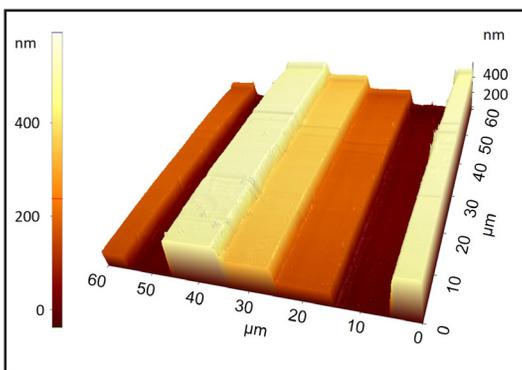
Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

Laser-based fabrication of micro-optics

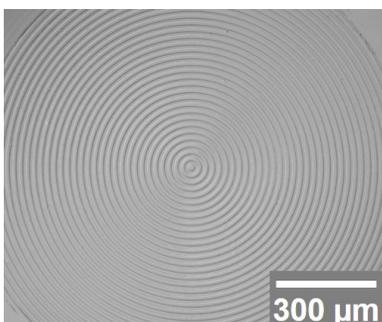
Micro optic components of glass like micro-lenses, gratings, or diffractive elements can be fabricated by direct processing of the glass by laser ablation. An alternative is given by the processing of a precursor of the glass material and the subsequent transformation into the material grade that is finally required. UV-absorbing silicon suboxide (SiO_x , $x \approx 1$) films are patterned by excimer laser ablation and subsequently oxidized to fused silica by thermal annealing. This two-step process allows for the fabrication of microstructured components made entirely of fused silica. For example, diffractive optical elements with two-phase-quantized levels (binary elements) can be produced via structured ablation of a thin film of silicon suboxide on a fused silica substrate followed by oxidation. Such phase elements can be used as projection masks for precise laser microfabrication or structured illumination in high-resolution microscopy.

Multilevel elements enable more design flexibility and significantly enhanced diffraction efficiency compared to binary elements. Multilevel phase structures are produced by repeating the ablation step after recoating the structured surface with additional layers of silicon suboxide. Finally, the element is oxidized to SiO_2 . A diffractive phase element in the form of a three-level line grating exhibits a diffraction efficiency of more than 60% in the +1st order, four levels deliver already 80%. The surface quality is excellent; within the levels a residual surface roughness of $R_a \approx 3 \text{ nm}$ is obtained.

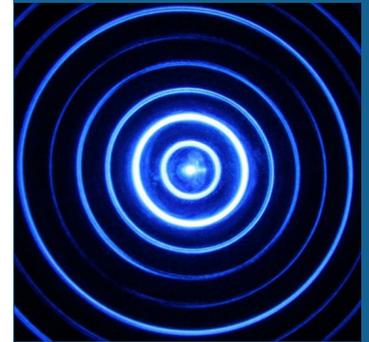


▲ Vierstufiges Phaselement aus Quarzglas, hergestellt in drei Zyklen aus SiO_x -Beschichtung und Strukturierung mittels Ablation und anschließender Oxidation. Links: atomkraftmikroskopische Aufnahme; rechts rasterelektronenmikroskopische Aufnahme.

Four-level fused silica phase element fabricated by three cycles of SiO_x film deposition and ablation patterning and final oxidation. Left: atomic force micrograph; right: scanning electron micrograph.



◀ Diffraktives Axicon aus Quarzglas.
Diffractive axicon of fused silica.



Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

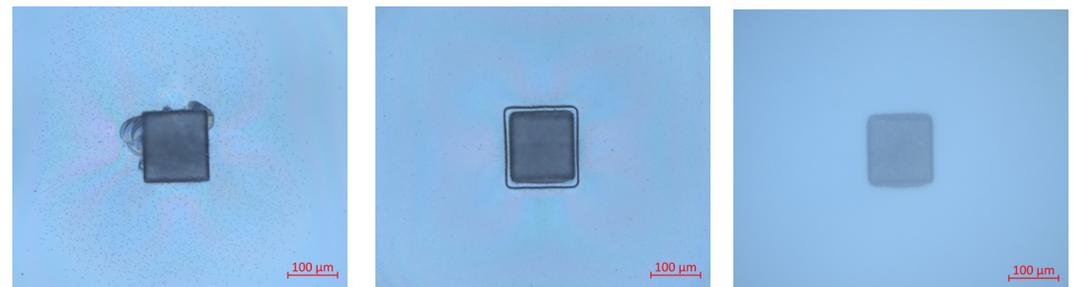
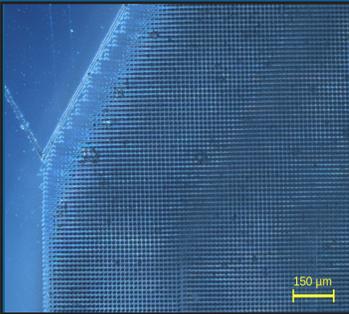
Laserbearbeitung von Glas

Materialien wie technische Gläser, die für sichtbares Licht transparent sind, stellen für die Lasermaterialbearbeitung eine Herausforderung dar. Eine Option können Excimerlaser darstellen, die ultraviolette Laserpulse emittieren. Neben der starken Absorption bieten Excimerlaser die Vorteile einer feineren Strukturauflösung sowie die Möglichkeit für Maskenprojektionsverfahren.

Allerdings gibt es auch innerhalb der Materialklasse der technischen Gläser Glas-typen, welche die UV-Laserbearbeitung vor Herausforderungen stellt. Ein Beispiel stellt das weit verbreitete Borosilikatglas Borofloat® 33 der Firma Schott dar. Dieses Glas ist für technische Anwendungen z. B. in der Chemie oder Medizin weit verbreitet. Es weist selbst bei der Laserwellenlänge 193 nm (Argonfluorid-Excimer-laser) im tiefen UV eine im Vergleich zu anderen Gläsern deutlich schwächere Ab-sorption auf. Bearbeitet man Borofloat® 33 mit einem ArF-Laser, so treten Begleit-schädigungen in Form von sog. Ausmuschelungen auf (Abb. 1, links).

In einem Projekt wurden Möglichkeiten für eine räumlich selektive Laser-Mik-rostrukturierung von Borofloat® -33- Oberflächen für Anwendungen in der glas-basierten Mikrofluidik untersucht. Dabei konnte zunächst ein Prozess entwickelt werden, mit dem Begleitschädigungen fast vollständig vermieden werden (Abb. 1, Mitte). Dieser Prozess bedient sich einer speziellen Beschichtung, welche die Ober-fläche gleichzeitig vor Verschmutzung während der Laserbearbeitung schützt. Nach der Bearbeitung kann die Beschichtung rückstandslos abgereinigt werden (Abb. 1, rechts).

Mittels Maskenprojektion wurden räumlich selektiv größere Bereiche von Mikrofluidik-Glassubstraten mit einer Mikrostruktur versehen (s. Randbild). Die Bearbeitung musste sich einerseits an bereits vorhandenen Mikrokanalstrukturen auf den Substraten orientieren. Andererseits durfte die lasergenerierte Mikrostruk-tur während ihrer Erzeugung durch Aneinanderreihung von Einzelspots (Stitching) nicht eingeebnet werden. Diesen Vorgaben konnte durch die Entwicklung einer de-dizierten Software entsprochen werden. Bemerkenswert ist, dass das Bearbeitungs-ergebnis kaum sog. Stitching-Artefakte zeigt.



▲
Abb. 1: Mit 100 Laserpulsen der Fluenz $3,8 \text{ J/cm}^2$ in Borofloat® 33 erzeugte Kavitäten der Größe $130 \times 140 \text{ µm}^2$. Links: unbeschichtetes Glas mit Ausplatzungen. Mitte: beschichtetes Glas. Rechts: beschichtetes Glas nach Reinigung.

Fig. 1: Cavities of size $130 \times 140 \text{ µm}^2$ created with 100 laser pulses of fluence 3.8 J/cm^2 in Boro-float® 33. Left: uncoated glass with chipping (shell defects). Middle: coated glass.

Right: coated glass after cleaning.

Kurze Pulse / Nanostrukturen

Short Pulses / Nanostructures

Laser processing of glass

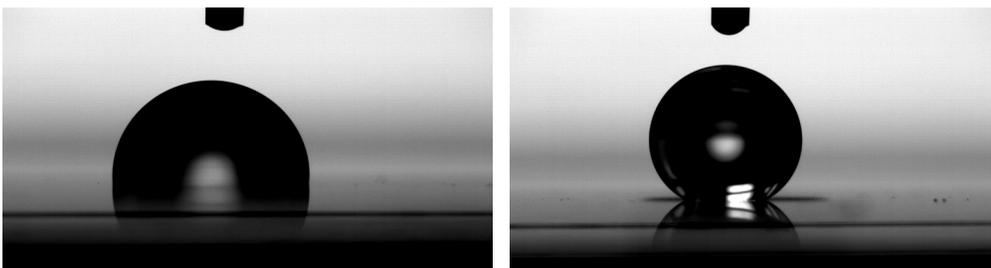
Laser micro- and nanostructuring is a promising method for functionalizing surfaces. However, materials such as technical glasses that are transparent to visible light represent a challenge for common laser sources. For this reason, excimer lasers have been used in the working group for many years. These sources emit ultraviolet laser pulses, which are usually strongly absorbed by technical glasses, which enables a direct structuring of the surface. In addition to the strong absorption, excimer lasers offer the advantages of a finer structure resolution and the possibility for mask projection processes.

However, there are also glass types within the material class of technical glasses which present challenges to UV laser processing schemes. One example is the borosilicate glass Borofloat® 33 produced by Schott. This glass is widely used in technical applications, e. g. in chemistry or medicine. Even at the laser wavelength of 193 nm (argon fluoride excimer laser) in deep UV, it has a significantly weaker absorption than other glasses. If Borofloat® 33 is processed with an ArF laser, concomitant damage in the form of chipping (shell defects) occurs (Fig. 1, left).

In a project, possibilities for a spatially selective laser microstructuring of Borofloat® 33 surfaces for applications in glass-based microfluidics were examined. First of all, a process was developed that almost completely prevents accompanying damage (Fig. 1, middle). This process uses a special coating that simultaneously protects the surface from contamination during the laser processing. After processing, the coating can be cleaned without residue (Fig. 1, right).

Using mask projection, larger areas of microfluidic glass substrates were selectively provided with a microstructure. The processing had to be based on the existing microchannel structures on the substrates. On the other hand, the laser-generated microstructure must not be destroyed during its creation by stringing together individual spots (stitching). These requirements could be met by developing dedicated software. It is remarkable that the processing result shows hardly any so-called stitching artifacts.

After hydrophobization with a silane, the laser-structured areas of the glass surface show a much larger contact angle for water than the smooth ones (Fig. 2).



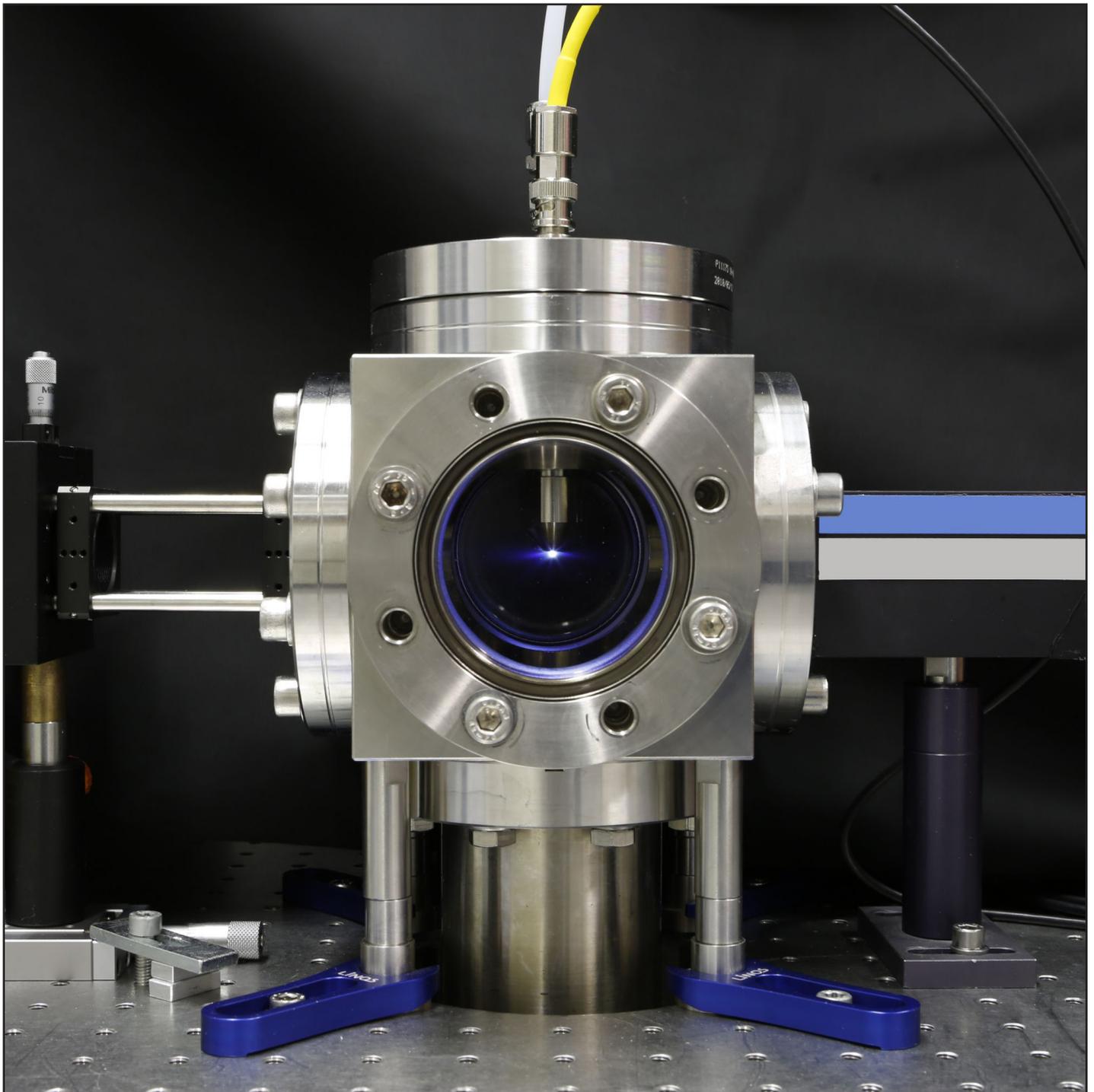
▲ Abb. 2: Kontaktwinkelmessung an Wasserstropfen auf silanisiertem Borofloat® -33 -Glas.

Links: unstrukturiertes Glas. Rechts: laserstrukturiertes Glas.

Fig. 2: Contact angle measurement on water drops on silanized Borofloat® 33 glass.

Left: unstructured glass. Right: laser-structured glass.

Berichte aus der Abteilung
Departmental Reports



Optik / Kurze Wellenlängen

Optics / Short Wavelengths

Die Abteilung „Optik / Kurze Wellenlängen“ des Laser-Laboratoriums beschäftigt sich mit der Propagation von Laserstrahlung, d.h. einerseits mit dem Abstrahlverhalten von Lasern, andererseits auch mit der Charakterisierung von Hochleistungsoptiken zur Strahlführung. Der Schwerpunkt liegt auf den für die Halbleiter-Lithographie relevanten tiefen UV-Wellenlängen, alle anderen gebräuchlichen Laser-Wellenlängen sind aber ebenso verfügbar.

Es werden Messapparaturen zur umfassenden Bewertung der Qualität und der Strahlungsstabilität optischer Komponenten betrieben. Damit lassen sich u. a. deren Absorption, thermische Linseneffekte, Zerstörschwellen sowie das Langzeit-Degradationsverhalten präzise ermitteln. Zusätzlich werden auch die Propagations- und Kohärenzeigenschaften von Laserstrahlung vermessen, u.a. mit verschiedenen hochauflösenden Wellenfrontsensoren.

Außerdem wird an der Weiterentwicklung kompakter Quellen für weiche Röntgen- und extrem ultraviolette (EUV) Strahlung gearbeitet; diese ermöglichen bereits jetzt diverse messtechnische Anwendungen (Absorptionsspektroskopie zur chemischen Analytik - NEXAFS, Reflektometrie, Röntgenmikroskopie im „Wasserfenster“). Die Fokussierung der kurzwelligen Strahlung mit geeigneten Optiken gestattet zudem Stabilitätstests auch an EUV-optischen Materialien und Sensoren bei der Wellenlänge 13,5 nm.

The Optics / Short Wavelengths department of the Laser-Laboratorium is concerned with the characterization of laser sources as well as high-quality optics for beam steering and shaping. The main focus is put on the deep UV wavelengths relevant for semiconductor microlithography. Other common laser wavelengths are also available.

Various measuring devices for assessment of the efficiency and stability of heavily loaded optical components are operated. This allows, among others, at-wavelength determination of laser-induced damage thresholds, thermal lensing, as well as monitoring of absorption and degradation behavior. In addition, the propagation and the coherence properties of laser radiation are precisely characterized with the help of specially designed Hartmann-Shack wavefront sensors.

Furthermore, compact soft X-ray (SXR) and extreme ultraviolet (EUV) sources for metrological applications with soft X-rays are being developed (optics testing, reflectometry, absorption spectroscopy for chemical analysis - NEXAFS, “water window” microscopy). Stability tests of EUV optics and sensors at 13.5 nm are accomplished by focusing the short wavelength radiation with the help of appropriate optical elements.



Dr. Klaus Mann
Abteilungsleiter

☎ +49-(0) 551/5035-41
☎ +49-(0) 551/5035-99
✉ kmann@llg-ev.de

Mitarbeiter Staff members

Dr. Markus Muchow
Dr. Matthias Müller
Dr. Bernd Schäfer
Dr. Jennifer Zimara
Jens-Oliver Dette
Jonathan Holburg
Kerim Köster
Simon Lange
Maik Lübbecke
Meike Schellhorn

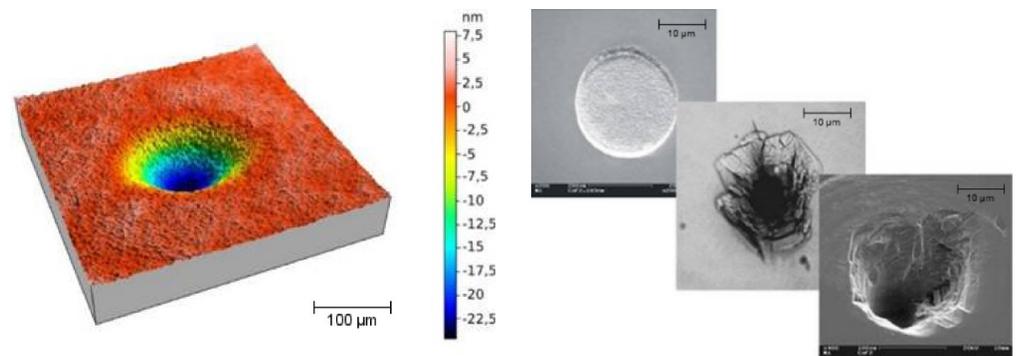
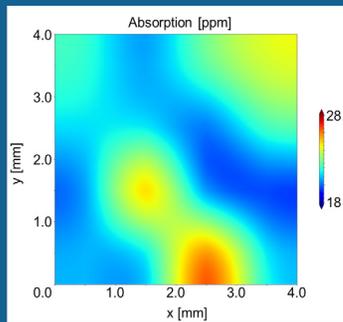
Optik / Kurze Wellenlängen

Optics / Short Wavelengths

Charakterisierung von Laseroptiken

Ziel der über 20-jährigen Aktivitäten zur Optik-Charakterisierung ist es, durch ein tieferes Verständnis der Wechselwirkungsmechanismen zwischen intensiver Laserstrahlung und optischen Materialien, eine Optimierung der Herstellungs- und Beschichtungsverfahren zu ermöglichen. Während dabei früher aufgrund akuter Materialprobleme die Messung der makroskopischen Zerstörschwelle (engl. LIDT-Messungen, siehe Abb. 1) im Vordergrund stand, ist jetzt die Degradation optischer Materialien bei den für die Halbleiter-Lithographie relevanten DUV-Wellenlängen (z. B. durch Farbzentrenbildung oder nichtlineare Effekte) von großer Bedeutung. Zusätzlich spielt angesichts stetig steigender mittlerer Laserleistungen die Deformation der Wellenfront aufgrund thermischer Effekte in den Optiken eine immer größere Rolle.

Als Schlüsselparameter für die Stabilität optischer Materialien ist die Absorption anzusehen: Die im Volumen und vor allem an der Oberfläche bzw. der Beschichtung von Optiken absorbierte Laserstrahlung führt zu einer inhomogenen Temperaturverteilung, die infolge thermischer Ausdehnung sowie Brechungsindexgradienten und innerer Spannungen im Material mit dem Auftreten einer „thermischen Linse“ verbunden ist. Dieser unerwünschte Effekt lässt sich zur quantitativen Bestimmung der Absorption optischer Materialien nutzen. Hierzu wurde ein auf Wellenfrontmessungen mit einem hochempfindlichen Hartmann-Shack-Sensor basierendes photothermisches Messsystem entwickelt und in den letzten Jahren zur Absorptionsmessung bei zahlreichen relevanten Laser-Wellenlängen im NIR, Vis- und UV-Bereich eingesetzt (siehe Abb. 2). Der experimentelle Aufbau wurde zuletzt um ein Probenpositioniersystem erweitert, sodass die Absorption nun auch ortaufgelöst erfasst werden kann (siehe Konturdarstellungen).



▲
Abb. 1: Links: Kompaktierung einer Quarzprobe durch ArF-Excimerlaser-Bestrahlung (108 Pulse, Weißlicht-Interferogramm). Rechts: morphologische Schädigungen optischer Komponenten bei der LIDT-Bestimmung.

Fig. 1: Left: Compaction of a quartz sample under ArF excimer laser irradiation (108 pulses, white light interferogram). Right: morphological damages of optical components after LIDT testing.

Optik / Kurze Wellenlängen

Optics / Short Wavelengths

Characterization of laser optics

The aim of our optics characterization activities over the last 20 years, is to provide a deeper understanding of the basic mechanisms of interaction between intense laser radiation and optical materials, in order to optimize the manufacturing and coating processes. While in earlier times major focus had to be put on measuring of short-term damage thresholds (LIDT tests, see Fig. 1), now the degradation of UV optical materials, e.g. by color center formation or non-linear effects, is of great importance, especially for the semiconductor lithography wavelengths 248 and 193 nm. In addition, due to steadily increasing laser powers, the thermally induced wavefront deformation in laser optics has become an issue of increasing relevance.

The key parameter for the stability of optical materials is absorption: the absorbed laser radiation in the bulk and especially on the surface or coating of optics leads to an inhomogeneous temperature distribution, which is associated with the occurrence of a “thermal lens” due to thermal expansion, refractive index gradients, and internal stresses in the material. This undesirable effect can, however, be employed for a quantitative determination of the absorption of optical materials. For this purpose, a photothermal measuring system based on wavefront measurements with a highly sensitive Hartmann-Shack sensor was developed and applied in recent years for absorption measurements at several relevant laser wavelengths in the NIR, Vis, and UV range (see Fig. 2). Recently, the experimental setup was extended by a sample positioning system, which allows the measurement of spatially resolved absorption (see contour plots).

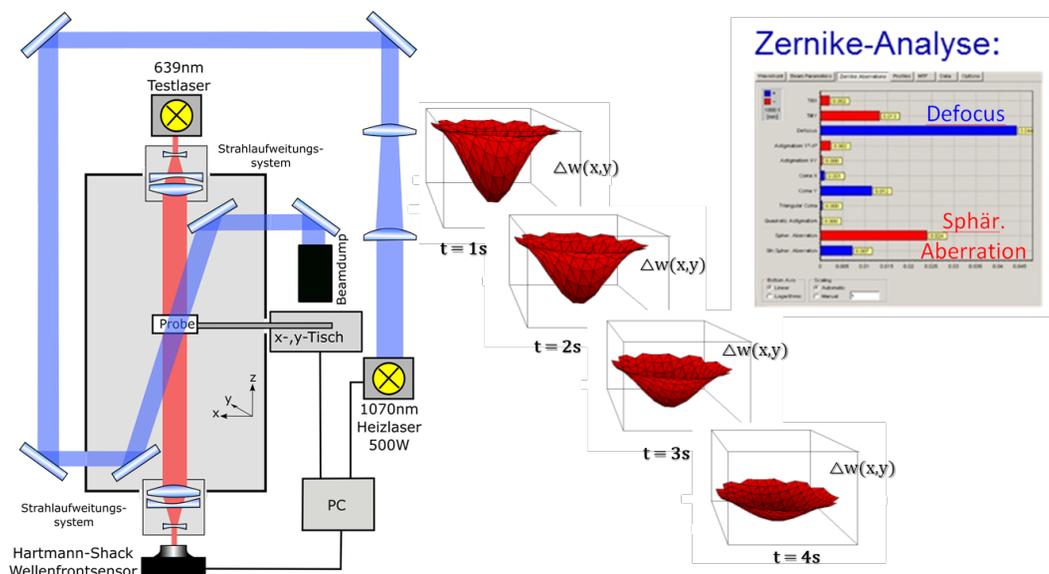
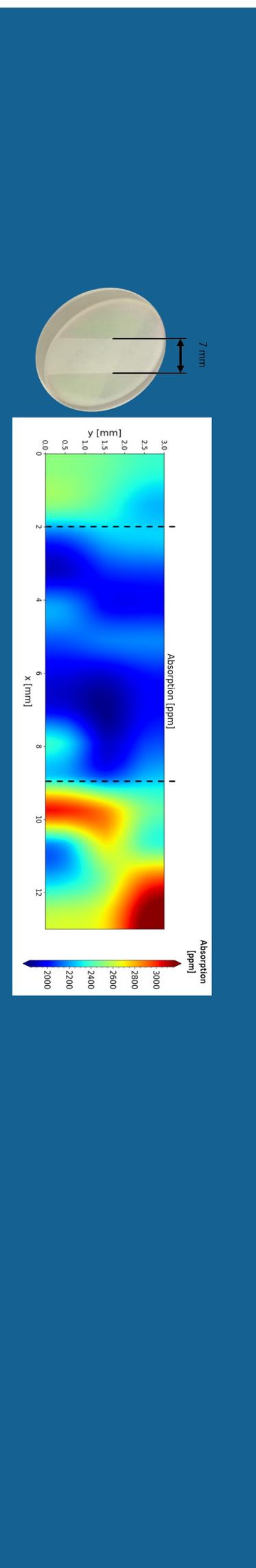


Abb. 2: Aufbau des photothermischen Messsystems zur quantitativen Auswertung des 'Focus shift'-Effekts und der induzierten Aberrationen.

Fig. 2: Setup of the photothermal measuring system for quantitative evaluation of the focus shift effect and the induced aberrations.



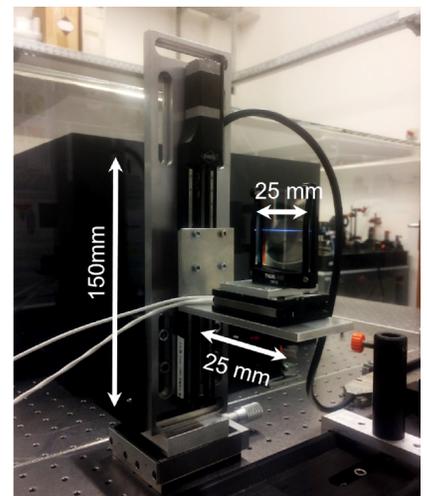
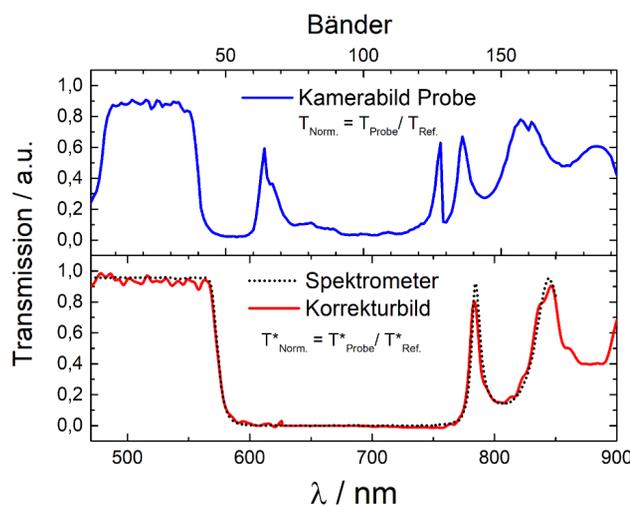
Optik / Kurze Wellenlängen

Optics / Short Wavelengths

Hyperspektralmessung zur Charakterisierung von Schichtuniformitäten

Im BMBF-Projekt „EPIC-Lens“ wird ein Messsystem zur Uniformitätskontrolle optischer Präzisionsbeschichtungen auf der Grundlage hyperspektraler Messtechnik entwickelt. Projektziel ist es, eine in-situ-Messtechnik mit hoher örtlicher sowie spektraler Auflösung zu entwickeln, die bereits während der Beschichtung von Planoptiken zur Qualitätskontrolle eingesetzt werden kann.

Optische Strahlführung, die automatisierte Datenaufnahme und -auswertung, insbesondere die Verarbeitung der hyperspektralen Messdaten, sind essenzielle Bestandteile zur Umsetzung des Messsystems, das bereits erfolgreich im ex-situ-Laboraufbau getestet wurde. Die Hyperspektralkamera erzeugt aufgrund wellenlängensensitiver Bänder (B) spektralaufgelöste Transmissionsbilder (T) entlang einer Ortskoordinate. Über den Vorschub der Probe wird sequenziell die zweite Ortskoordinate vermessen. Auf diese Weise wird ein 4D-Datenwürfel (x, y, B, T) generiert. Die reine Bandinformation kann jedoch nicht mit der spektralen Information gleichgesetzt werden, da die Bänder zum Teil für mehrere Wellenlängen aktiv sind und zunächst über numerische Optimierungsverfahren korrigiert werden müssen (siehe Abb. 1). Je nach Fragestellung können letztlich unterschiedliche Abhängigkeiten mit dem Datenwürfel betrachtet werden. Anhand einer x-y-Oberflächendarstellung (siehe Abb. 2) kann beispielsweise die örtliche spektrale Homogenität überprüft und der Beschichtungsprozess entsprechend optimiert werden.



▲
Abb. 1: Links: Spektrale Transmission aus unkorrigiertem Kamerabild (T_{Norm}) in Abhängigkeit von der Bandinformation an einer beliebigen Ortskoordinate (oben) sowie numerisch korrigiertes Kamerabild (T_{Norm}^*) im Vergleich zu Spektrometerdaten. Rechts: elektrisch ansteuerbare x-y-Translationseinheiten zum Verfahren der Probe.

Fig. 1: Left: Spectral transmission from uncorrected camera image (T_{Norm}) depending on band information in comparison to the spectrally corrected image (T_{Norm}^*) and corresponding spectrometer data. Right: x-y translation stage for sample position adjustment.

Optik / Kurze Wellenlängen

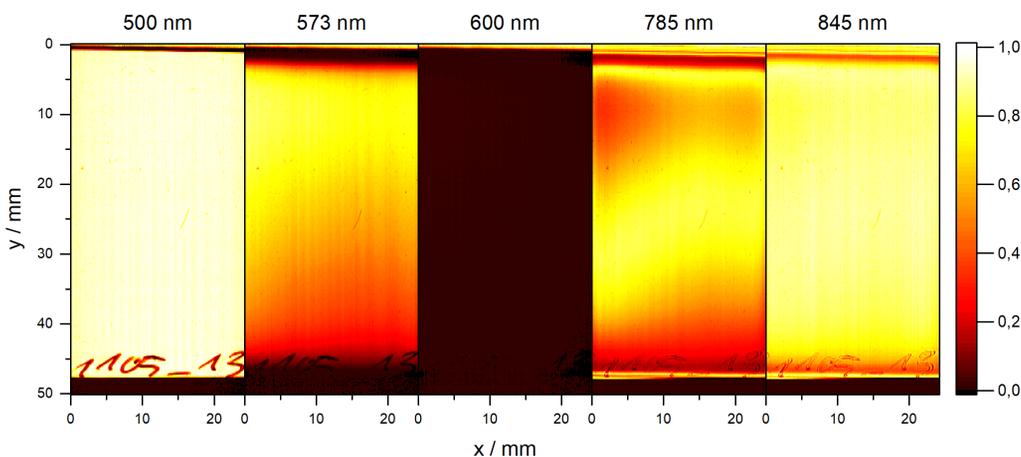
Optics / Short Wavelengths

Characterisation of coating uniformities using a hyperspectral measurement technique

Within the BMBF project EPIC-Lens, starting in 2018, the Optics / Short Wavelengths department is developing a new in situ diagnostic system based on a hyperspectral measurement technique in order to detect inhomogeneities in optical coating processes with a high spectral and spatial resolution.

The automated data acquisition and data analysis, in particular the post-processing of hyperspectral measurement data, is an essential part of this diagnostics system and could already be demonstrated in ex situ measurements (see Fig. 1). Due to wavelength sensitive bands (B), the hyperspectral camera generates spectrally resolved transmission images (T) along one spatial coordinate. The progressive feed of the sample sequentially yields the second spatial coordinate. In this way, a 4D data cube (x, y, B, T) is generated.

However, spectral camera bands may be sensitive to more than one wavelength. Therefore, the band information is not directly comparable to spectral information, requiring additional numerical optimization processes (see Fig. 1). With the wavelength corrected data cube, different sample properties can be addressed. For example, on a x-y surface plot, local spectral coating inhomogeneities can be visualized (see Fig. 2), qualifying the actual coating process.



▲
Abb. 2: Ortsabhängige Transmission eines gemessenen Spektralfilters für fünf verschiedene Wellenlängen. Es ist zu erkennen, dass die Beschichtung örtliche spektrale Inhomogenitäten aufweist.
Fig. 2: Laterally resolved transmission of a measured spectral filter for five different wavelengths. Coating inhomogeneities are evident.

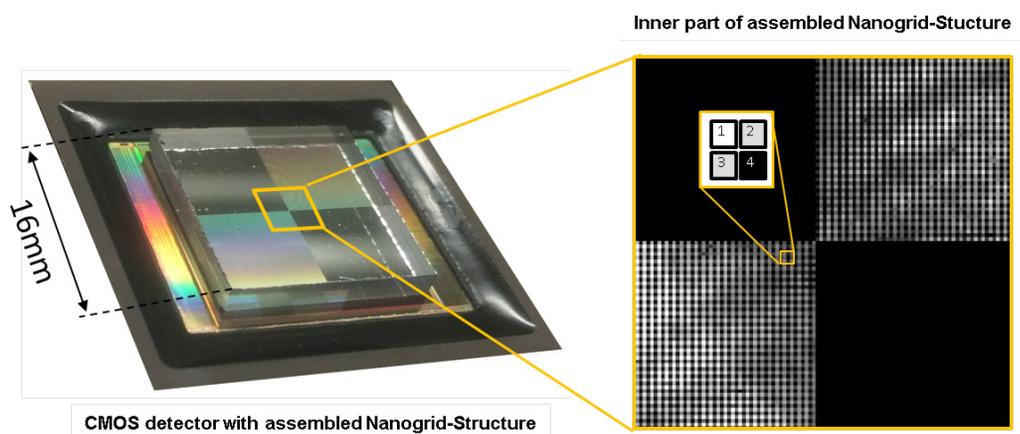
Optik / Kurze Wellenlängen

Optics / Short Wavelengths

Polarisationsempfindlicher Wellenfrontsensor

2017 startete zusammen mit den Projektpartnern Primes GmbH, SillOptics GmbH & Co KG, AMO GmbH sowie mit der Saueressig GmbH & Co KG das BMBF-Photonik-Plus-Verbundvorhaben „Polarisationsempfindlicher Wellenfrontsensor auf Basis von Nano-Gittern zur Charakterisierung thermischer Aberrationen in Hochleistungs-Laseroptiken“ – NANOPOL. Projektziel ist die Entwicklung eines polarisationssensitiven Wellenfrontsensors, der eine hochauflösende Lichtfeldanalyse und daraus die Bestimmung und Überwachung prozessrelevanter Strahlparameter in Echtzeit gestattet. Auf Grundlage dieser Daten soll eine Reduzierung thermisch induzierter Aberrationen erfolgen, und zwar in laseroptischen Systemen und für konkrete Laser-Bearbeitungsprozesse in industriellen Produktionsanlagen.

Ziel des LLG-Teilvorhabens ist dabei der Aufbau des polarisationsempfindlichen Moduls auf Basis eines Wellenfront-Krümmungssensors in Kombination mit polarisierenden Nanogittern zur simultanen Aufnahme von zwei bis zu vier Profilen eines Laserstrahls. Der Sensor soll im Projektverlauf in ein Messsystem der Primes GmbH integriert werden. Als polarisierendes Element ist ein lithographisch hergestelltes Array von Sub-Wellenlängen-Gitterstrukturen aus Aluminium auf einem Quarzglassubstrat vorgesehen. Die Elementarzelle dieses Nanogitter-Arrays besteht aus 4 Gittern mit unterschiedlicher Orientierung, die genau 4 Pixel des verwendeten CMOS-Detektors abdecken (siehe Abb. 1). Mit dem neuen Sensor kann die Wellenfrontrekonstruktion wahlweise für jede Polarisationsrichtung separat oder unter Mittelung über die vier Teilgitter erfolgen. Zudem besteht die Möglichkeit, den Polarisationszustand lokal über die Bestimmung der Stokes-Parameter zu charakterisieren.



▲ Abb. 1: Links: Prototyp des polarisationsempfindlichen Sensors. Rechts: Die Intensitätsverteilung unter Bestrahlung mit linear polarisiertem Licht bei 520 nm zeigt deutlich die 2 x 2 Einheitszellen mit unterschiedlicher Intensität der 4 Pixel.

Fig. 1: Left: Prototype of the polarization-sensitive sensor. Right: The intensity distribution upon irradiation with linear polarized light at 520 nm clearly shows the 2 x 2 unit cells with unequal luminance of each pixel.

Optik / Kurze Wellenlängen

Optics / Short Wavelengths

Polarization-sensitive wavefront sensor

In 2017, LLG commenced activities within the framework of the BMBF joint project NANOPOL. The principal purpose will be the development of a polarization sensitive wavefront sensor based on the principle of the curvature sensor and utilizing a polarizing nanogrid structure, respectively. Based on high spatial resolution beam diagnostic, the sensor shall accomplish the real-time determination and survey of important beam parameters. The latter shall permit a reduction of thermally induced aberrations in laser material-processing applications for industrial production facilities.

The main issue of the LLG part within NANOPOL is the setup of the polarization-sensitive sensor module together with the development of corresponding analysis software. In the course of the project progress, the LLG module shall be integrated into a Primes measurement system.

The intended polarizing element consists of an array of sub-wavelength structures on a fused silica substrate, which shall be manufactured by AMO with an adapted lithographic process. The unit cell of the array consists of four grids with different orientations covering precisely four pixels of the used CMOS detector. By this means, the wavefront reconstruction can be performed for each polarization separately and furthermore the local state of polarization may be characterized by determination of the Stokes parameters.

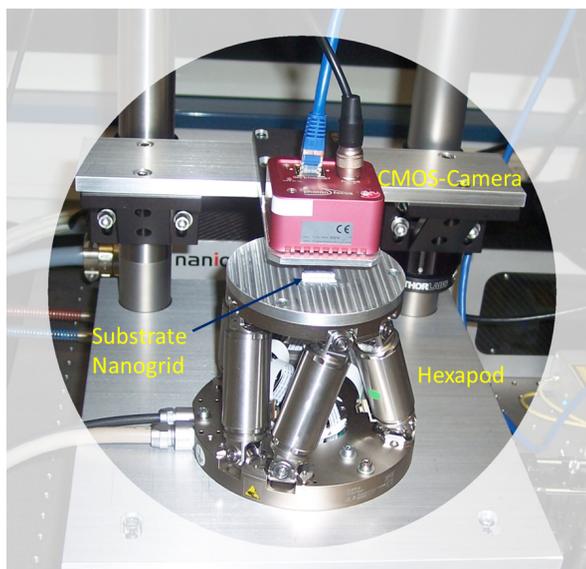


Abb. 2: Hochstabiler experimenteller Aufbau zur pixelgenauen Verklebung von Nanogitter-Substrat und CMOS-Chip. Kernstück des Aufbaus ist ein Hexapod zur ultrapräzisen lateralen und vertikalen Ausrichtung beider Bauteile. Entsprechende Strahlführungen gestatten die Online-Beobachtung der Ausrichtung sowie das UV-Aushärten des Klebers.

Fig. 2: Stable mechanical setup for pixel-precise gluing of nanogrid substrate and CMOS chip. Main item is a Hexapod for ultraprecise lateral and vertical positioning of both parts. Corresponding beam guides enable the online inspection of alignment as well as, the UV curing of the adhesive.

Optik / Kurze Wellenlängen

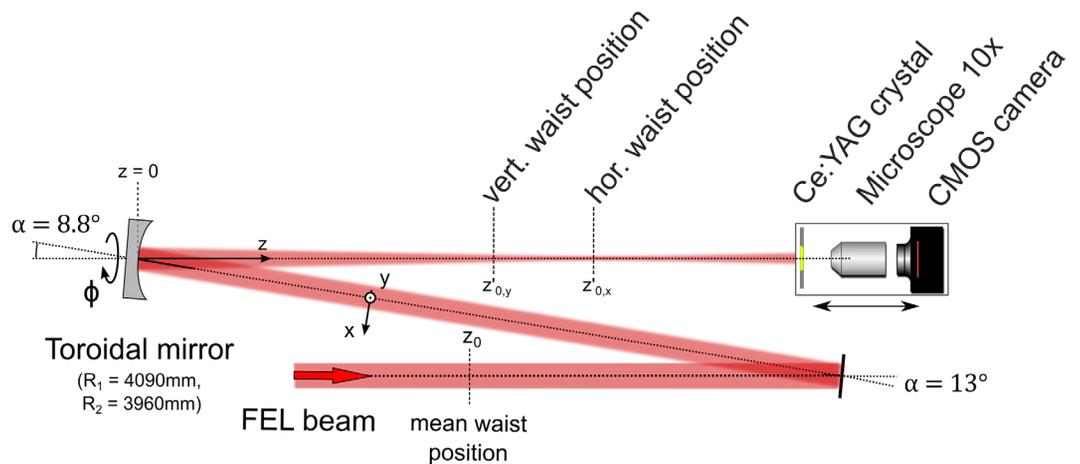
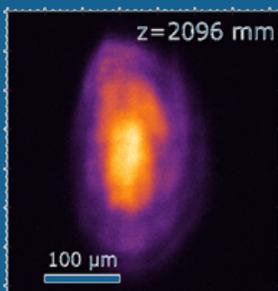
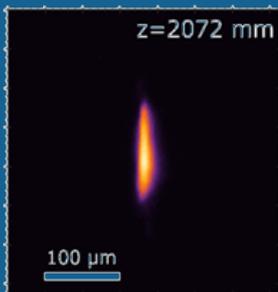
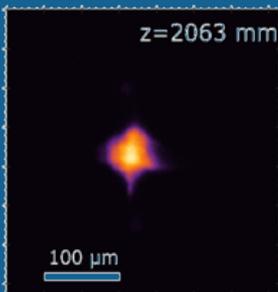
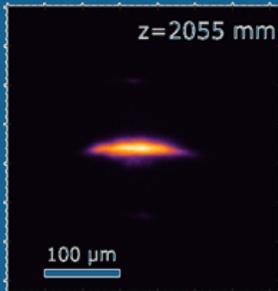
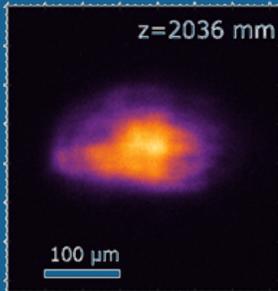
Optics / Short Wavelengths

Charakterisierung teilkohärenter Strahlung mittels Wigner-Verteilung

Als Fouriertransformierte der Kohärenzfunktion beinhaltet die Wigner-Verteilung die volle Beschreibung des Propagationsverhaltens eines Strahls und ebenso alle Informationen über seine räumliche Kohärenz, die sonst nur mit hohem Aufwand experimentell ermittelt werden können. Allgemein kann sie als Radianz vom Ort x in Richtung u interpretiert werden.

In langjähriger Kooperation mit DESY / Hamburg wurde ein tomographisches Verfahren zur Bestimmung der Wigner-Verteilung am Freie-Elektronen-Laser FLASH entwickelt (siehe Abb. 1). Da diese Verfahren allerdings bisher nur einen Teil der Wigner-Verteilung erfassen konnten, wurde das Verfahren in den letzten Jahren verbessert. Durch einen drehbaren Toroid-Spiegel kann die vollständige, vierdimensionale Wigner-Verteilung (siehe 2D-Projektion) rekonstruiert werden. Testmessungen am LLG für bekannte Strahlen unterschiedlicher Komplexität zeigten die Eignung des verbesserten Verfahrens für die Strahlcharakterisierung.

Im Laufe des Jahres 2019 wurde der Aufbau erneut verbessert (siehe Abb. 2). So wurde ein Ce:YAG-Kristall als Szintillator genutzt, wodurch die Qualität der aufgenommenen Kaustik (siehe Strahlprofile) deutlich anstieg und eine höhere Abbildungsaufösung erreicht werden konnte. In einer weiteren Messzeit konnten so neue Daten gewonnen werden, die momentan zur Veröffentlichung vorbereitet werden.



▲ Abb. 1: Skizze der experimentellen Anordnung zur Messung der 4D-Wigner-Verteilung. Der Strahl des Freie-Elektronen-Lasers (FEL) trifft auf einen Toroid-Spiegel. Der Spiegel fokussiert den Strahl auf einen Ce:YAG-Kristall mit einer Kamera, mit der Strahlprofile an verschiedenen Positionen der Kaustik sowie für verschiedene Drehwinkel des Toroid-Spiegels aufgenommen werden.

Fig. 1: Sketch of the experimental setup for measuring the 4D Wigner distribution function. The FEL beam hits the toroidal mirror and is focused onto a Ce:YAG crystal in front of a microscopic camera, which can be moved along the beam axis, capturing beam profiles for different positions along the caustic as well as for different rotation angles of the mirror.

Optik / Kurze Wellenlängen

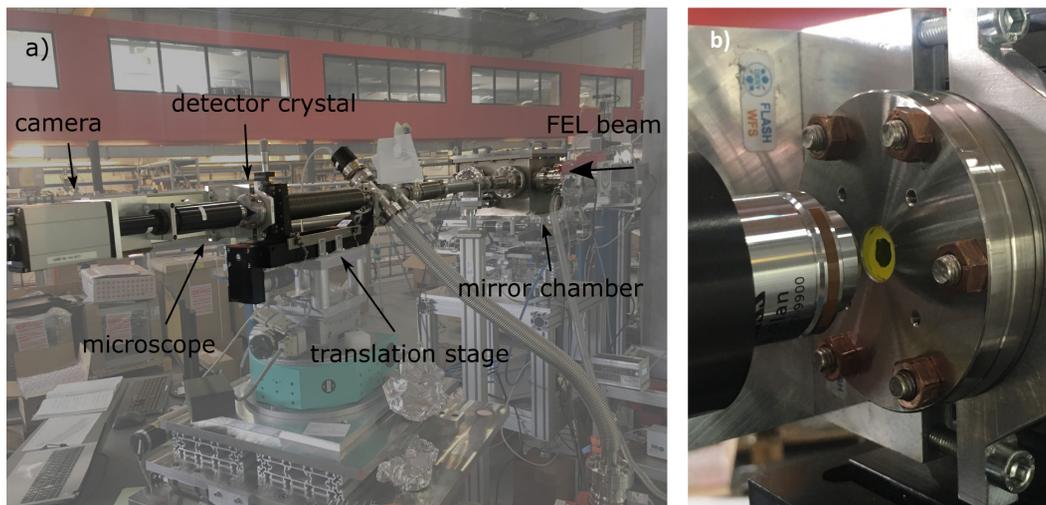
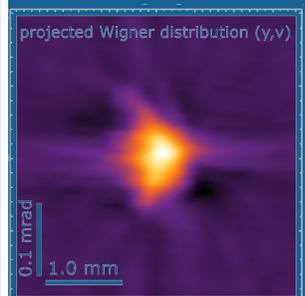
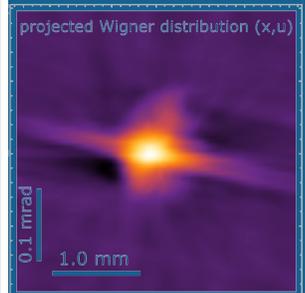
Optics / Short Wavelengths

Characterization of partially coherent radiation by Wigner measurements

As Fourier transform of the mutual coherence function, the Wigner distribution function (WDF) contains the full propagation characteristics of a beam as well as its spatial coherence information, which normally is only accessible with high experimental effort. Generally, one can interpret the WDF as the radiance from point x into direction u .

In a long-standing cooperation with DESY / Hamburg, a tomographic method to determine the WDF at the free-electron-laser FLASH was developed (see Fig. 1). Since previous methods could only probe parts of the WDF, the method was improved using a rotatable toroidal mirror, which allows the full reconstruction of the four-dimensional WDF (see 2D projections). The method was qualified at LLG using well characterized radiation sources of different complexity.

In 2019, the setup was further improved (see Fig. 2). The use of a Ce:YAG crystal as a scintillator greatly enhanced the quality of the caustic measurement (see beam profiles) and enabled a better image resolution. In additional measurements, we were able to record new data, which are currently being processed for publishing.



▲
Abb. 2: Links: Foto des Experiments in der FLASH-Experimentierhalle. Rechts befindet sich die Vakuumkammer mit dem Toroid-Spiegel, links die Detektionseinheit aus Ce:YAG-Kristall, Mikroskop und Kamera. Dazwischen befindet sich ein Vakuumrohr, in dem der fokussierte Strahl verläuft. Rechts: Nahaufnahme des Kristalls (gelb) und des Mikroskopobjektivs.

Fig. 2: Left: Image of the setup in the FLASH experimental hall. On the right is the vacuum chamber containing the mirror, on the left the detection unit consisting of camera, microscope, and Ce:YAG crystal. The focused beam propagates towards the camera in the connecting vacuum tube. Right: Close-up of the crystal (yellow) and the microscope objective.

Optik / Kurze Wellenlängen

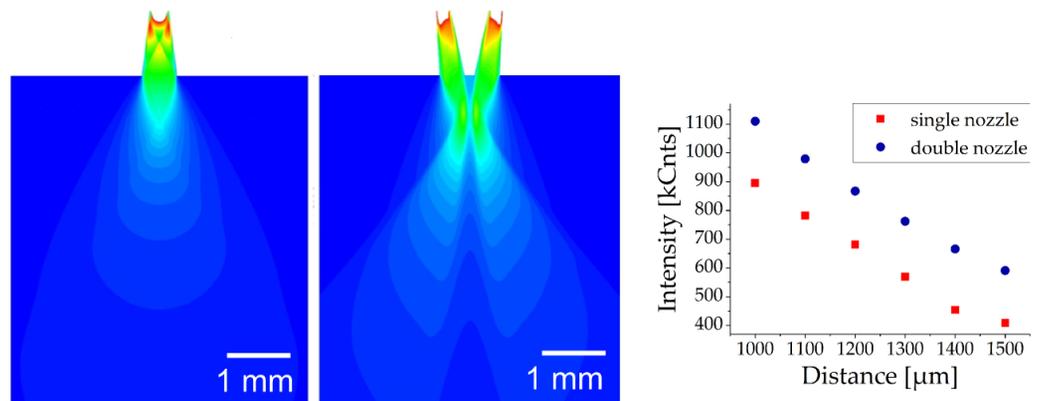
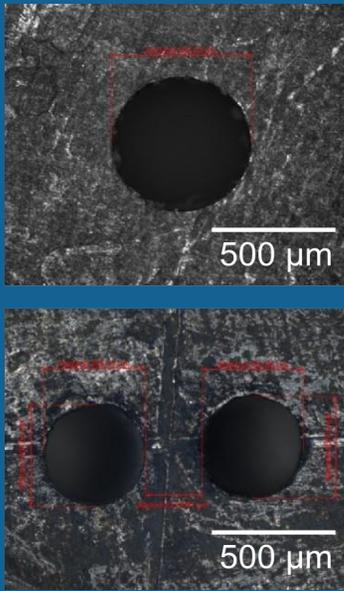
Optics / Short Wavelengths

Kompakte Laborquellen für weiche Röntgen- und EUV-Strahlung

Weiche Röntgen- und EUV-Strahlung ermöglicht eine Vielzahl anwendungsbezogener Forschungsaktivitäten: So wird Strahlung bei $\lambda = 13,5 \text{ nm}$ u.a. in der EUV-Halbleiterlithographie zur Fertigung von mikroelektronischen Schaltkreisen genutzt. Gepulste Röntgenstrahlung wird z.B. für innovative Anwendungen benötigt, die von der strukturellen Analytik in der Biologie und den Lebenswissenschaften bis hin zur Untersuchung von Wechselwirkungsmechanismen mit Materie reichen.

Am LLG werden auf Basis laserinduzierter Plasmen diverse kompakte Quellen für weiche Röntgen- und EUV-Strahlung im Spektralbereich von 1 – 20 nm betrieben. Die Plasmaquellen nutzen einen gepulsten Gasstrahl als Lasertarget, der im Gegensatz zu anderen Targets (z. B. Festkörper, Flüssigkeiten) einen langzeitstabilen und sauberen Betrieb bei äußerst kompakter Bauweise ermöglicht. Die Brillanz der Quelle wurde im letzten Jahr durch eine optimierte Düsengeometrie verbessert (siehe Abb. 1), indem statt einer Einzeldüse zwei konische Düsenöffnungen zur Formung eines Gasstrahls höherer Dichte verwendet wurden (siehe Mikroskopaufnahme der Düsen).

Darauf aufbauend wurde ein Labormesssystem für EUV-Strahlung entwickelt, das u.a. für Ablationsexperimente (siehe Fokusprofil und Ablation PMMA), aber auch für Metrologie, z.B. zur Qualifizierung von EUV-Sensoren, geeignet ist. Zudem wurde im Rahmen des SFB 755 „Nanoscale Photonic Imaging“ ein kompaktes Laborröntgenmikroskop für den Wellenlängenbereich des „Wasserfensters“ ($\lambda = 2,2 - 4,4 \text{ nm}$) entwickelt, mit dem z. B. Algen, Mikro-Organismen sowie das Bakterium *Deinococcus radiodurans* mikroskopiert wurden (siehe Abb. 2).



▲
Abb. 1: Links: Berechnete Gasdichteverteilung in der y-z-Ebene für Einzel- und Doppeldüse. Rechts: Plasmaintensitäten bei Verwendung von Einzel- bzw. Doppeldüse in Abhängigkeit des Abstands zur Düsenöffnung.

Fig. 1: Left: Calculated gas density distribution in the y-z plane for single and double nozzle. Right: Plasma intensities using single or double nozzle as a function of distance to nozzle opening.

Optik / Kurze Wellenlängen

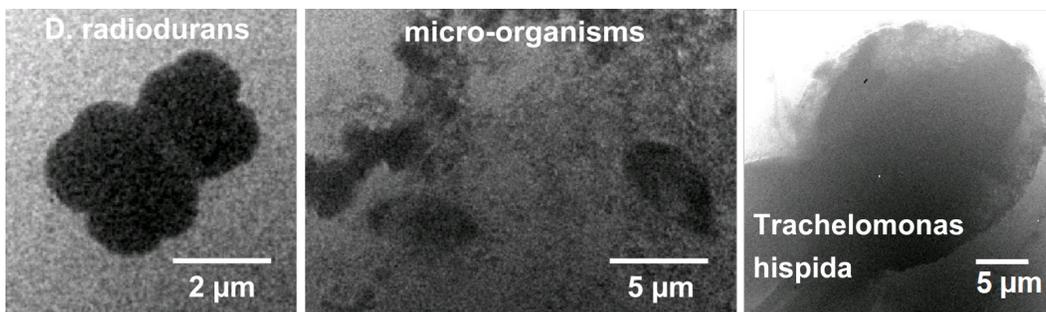
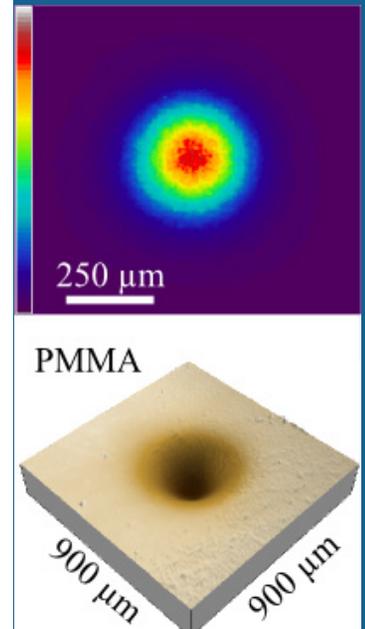
Optics / Short Wavelengths

Laboratory-scale soft X-ray and EUV radiation sources

EUV and soft X-ray radiation form the basis for a variety of applied research activities: radiation at $\lambda = 13.5 \text{ nm}$ is used in EUV semiconductor lithography for the production of microelectronic circuits. Pulsed X-rays are employed for many innovative applications ranging from structural analysis in biology and life sciences to the investigation of fundamental mechanisms of interaction with matter.

The plasma sources operated at LLG make use of a pulsed gas jet as the laser target, which allows, in contrast to other targets (solids, liquids), long-term stable and clean operation in an extremely compact design. The brilliance of the source could be increased by an optimized nozzle geometry last year (see Fig. 1), using not only one, but two conical nozzle orifices in order to form a gas jet with higher density (see microscope image of nozzles).

On this basis, a laboratory-scale EUV system was developed, which is suitable for ablation experiments (see focal spot size and ablation imprint of PMMA), but also for metrology applications, for example for the qualification of EUV sensors. Furthermore, a compact laboratory X-ray microscope is operated in the "water window" spectral range ($\lambda = 2.2 - 4.4 \text{ nm}$) within the framework of the SFB 755 "Nanoscale Photonic Imaging", being used to image various algae, microorganisms, and also the polyextremophilic bacterium *Deinococcus radiodurans* (see. Fig. 2).



▲
Abb. 2: Mikroskopaufnahmen des Bakteriums *Deinococcus radiodurans* (links), von eisenhaltigen Mikro-Organismen (Mitte) und von der Alge *Trachelomonas hispida* (rechts) bei $\lambda = 2,88 \text{ nm}$ (250-fach, eff. Pixelgröße 52 nm, 18 000 Pulse, Belichtungszeit 60 min). Die Probe *D. radiodurans* wurde von T. Salditt (Universität Göttingen) zur Verfügung gestellt.

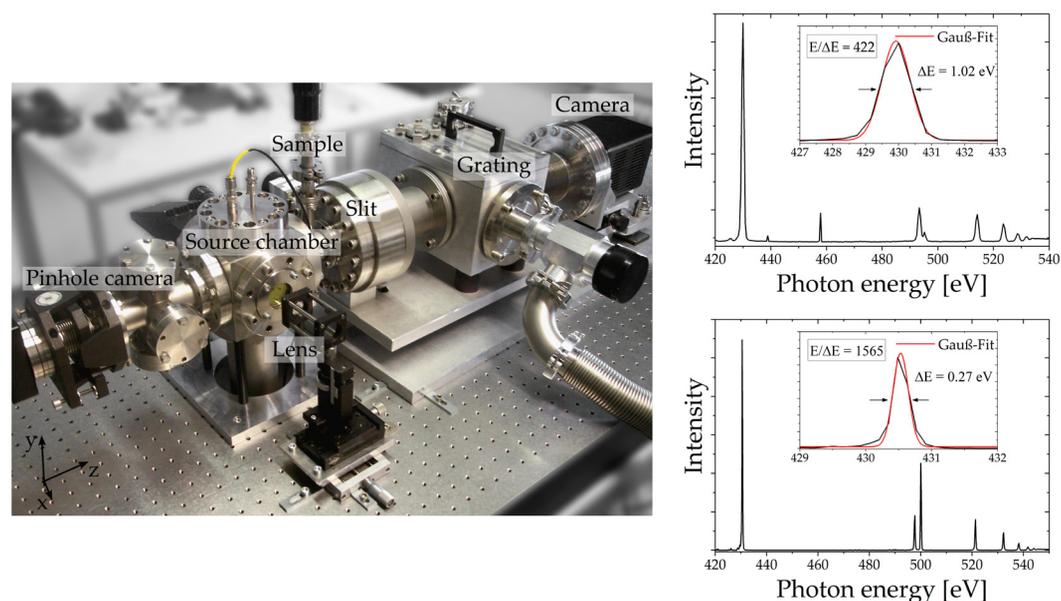
Fig. 2: Soft X-ray micrographs of bacterium *Deinococcus radiodurans* (left), iron-containing micro-organisms (middle) and alga *Trachelomonas hispida* (right) recorded at $\lambda = 2.88 \text{ nm}$ (250 \times , effective pixel size 52 nm, 18 000 pulses, exposure 60 min). The *D. radiodurans* was provided by T. Salditt (University of Göttingen).

Optik / Kurze Wellenlängen

Optics / Short Wavelengths

Röntgenabsorptionsspektroskopie (NEXAFS)

Auf Basis der kompakten Röntgenquelle wurde ein Labormesssystem zur Absorptionsspektroskopie für den Wellenlängenbereich von $\lambda = 1 - 5$ nm entwickelt (siehe Abb. 1). Als Quelle wird ein in diesem Bereich breitbandig emittierendes laserinduziertes Krypton-Plasma genutzt. Mit dem nachfolgenden Spektrometer lässt sich an dünnen Transmissionsproben die Lage der Röntgenabsorptionskanten und damit der Bindungszustand vieler wichtiger Elemente (u.a. C, N, O, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu) genau vermessen. Ihre Feinstruktur (NEXAFS = Near Edge X-ray Absorption Fine Structure) gestattet Aussagen über die Molekülorbitale, den Oxidationszustand und die Koordination des absorbierenden Elements, kann also zur chemischen Analytik eingesetzt werden. Die Proben können dabei entweder im Vakuum oder an einer eigens für das kompakte Spektrometer entwickelten Helium-Probenkammer unter Atmosphärendruck untersucht werden. Die spektrale Auflösung des Laborsystems konnte im Vergleich zum Vorgängermodell durch ein neues Reflexionsgitter im Rahmen des ZIM-Projekts ELaRA im letzten Jahr um etwa einen Faktor 4 erhöht werden, sodass eine exzellente Übereinstimmung der Spektren einer Goethitprobe (siehe Strukturformel) mit vergleichbaren Messungen an Synchrotronquellen erzielt wird (siehe Abb. 2).



▲
Abb. 1: Links: Foto des kompakten NEXAFS-Spektrometers. Rechts: spektrale Auflösung des Laborsystems, bestimmt anhand der Emissionslinie des Stickstoffs bei $\lambda = 2,88$ nm für bisheriges (oben) und neues Reflexionsgitter (unten).

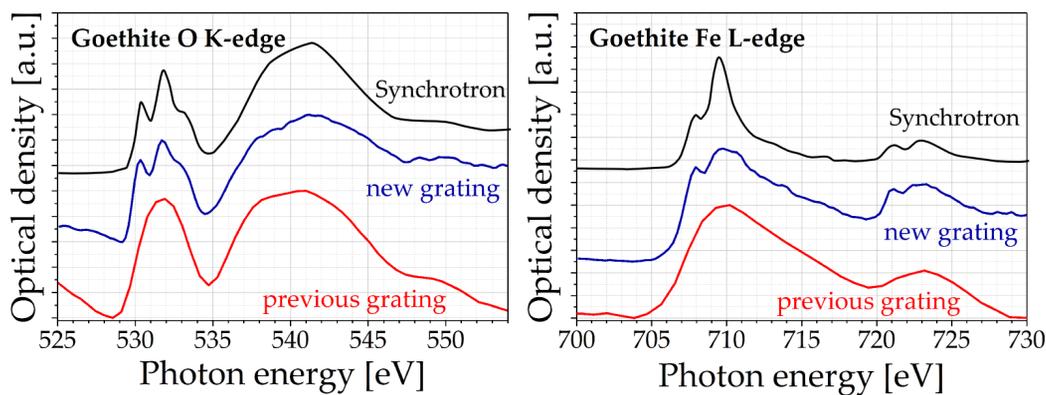
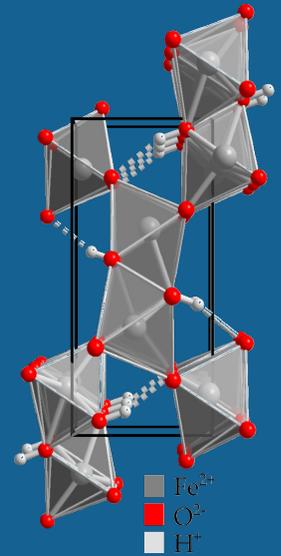
Fig. 1: Left: Photograph of the laboratory-scale NEXAFS spectrometer. Right: spectral resolution of the laboratory system determined by the emission line of nitrogen at $\lambda = 2,88$ nm for (top) previous and (bottom) new reflection grating.

Optik / Kurze Wellenlängen

Optics / Short Wavelengths

X-ray absorption spectroscopy (NEXAFS)

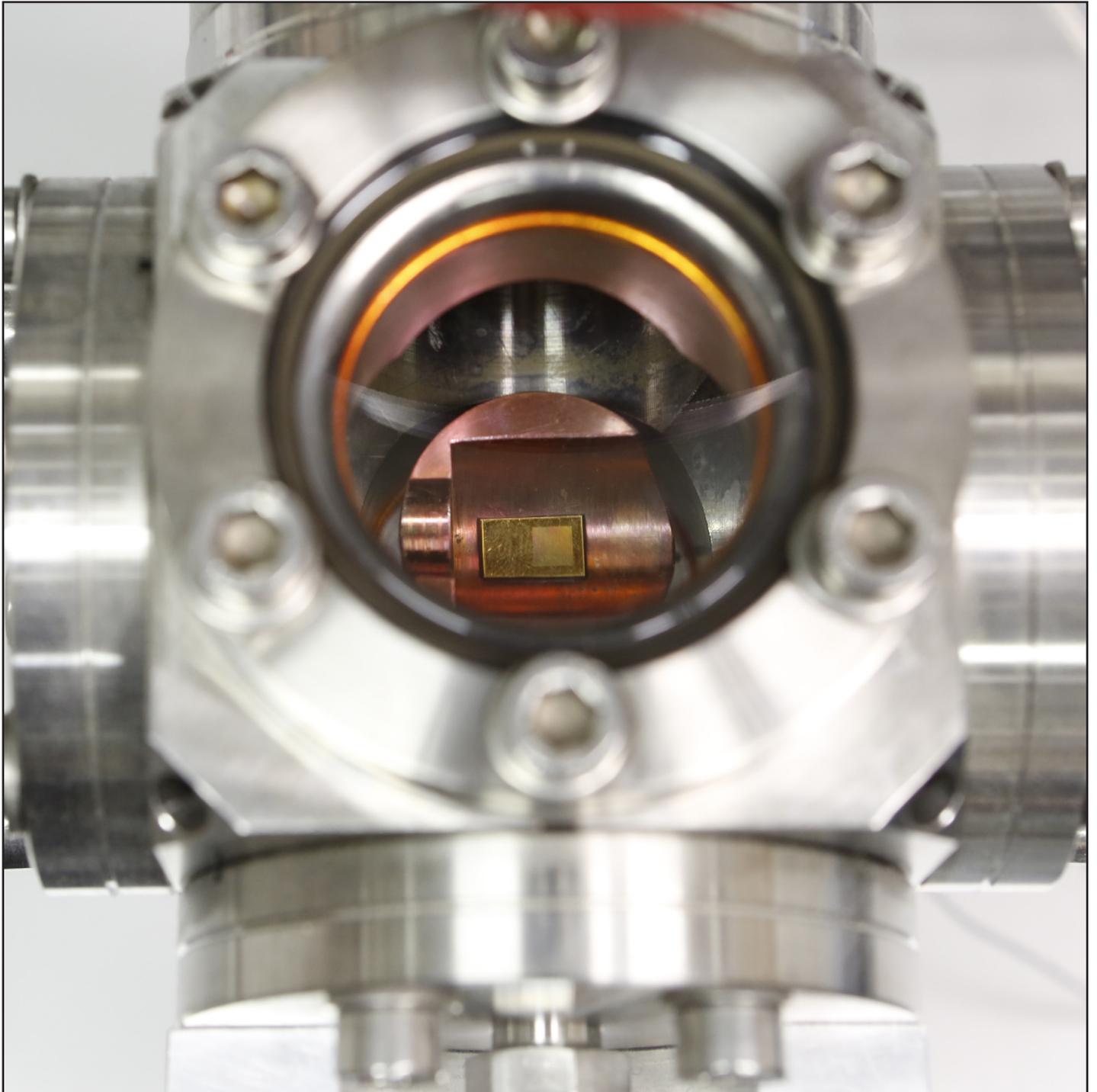
A soft X-ray spectrometer for analysis of the near-edge X-ray absorption fine structure (NEXAFS) of thin samples is being developed (see Fig. 1), employing the laboratory scale laser plasma source described above. Utilizing Krypton as target gas, it emits in the spectral range between $\lambda = 1 - 5$ nm covering the absorption edges of important elements, such as C, N, O, Ca, Ti, Mn, Fe, and Cu. The fine structure of the absorption edges yields information on molecular orbitals, oxidation states, and the coordination of absorbing elements, and can therefore be applied for chemical analysis. Single-pulse NEXAFS spectra are obtained from broad-band plasma radiation transmitted through a thin sample, divided by a reference spectrum without sample. The samples can be held in a vacuum or in a Helium purged chamber specially developed for the compact NEXAFS spectrometer under atmospheric pressure. Utilizing a new reflection grating, the spectral resolution of the laboratory system could be increased by a factor of about 4 in comparison to the previous one within the ZIM project ELaRA during the last year, resulting in an excellent agreement of goethite samples (see structural formula) with comparable measurements at synchrotron sources (see Fig. 2).



▲
Abb. 2: NEXAFS-Spektren von Goethit an der Sauerstoff-K- (links) und der Eisen-L_{3,2}-Kante (rechts) mit bisherigem und neuem Reflexionsgitter im Vergleich zu Synchrotrondaten von Brandt et al., *Chemical Geology* 329, 42-52 (2012).

Fig. 2: Oxygen K-edge (left) and iron L_{3,2}-edge (right) NEXAFS spectra of goethite utilizing the previous and new reflection grating in comparison to synchrotron data taken by Brandt et al., *Chemical Geology* 329, 42-52 (2012).

Berichte aus der Abteilung
Departmental Reports



Photonische Sensorik

Photonic Sensor Technologies

Die Abteilung erforscht und entwickelt neuartige sensorische Messverfahren, überwiegend basierend auf Ramanstreuung, Fluoreszenz, IR-Absorption sowie Ionenmobilitätsspektrometrie, häufig in Kombination mit Probenvorbereitungsverfahren und chemometrischen Methoden.

Die Stärken des optischen Sensorverfahrens liegen in der zerstörungsfreien, berührungslosen sowie schnellen Messung und Analyse von Substanzen, Strukturen sowie komplexen Matrices und biologischen Systemen.

Durch neue Kombinationen von optischer Spektroskopie mit der Mikrofluidik, der Nanotechnologie oder der Chemometrie ergibt sich ein sehr hohes Potenzial für innovative Anwendungen. Dazu gehören insbesondere Anwendungen aus den Bereichen der Umweltanalytik, Vor-Ort-Analytik, Bioanalytik und Prozessanalyse.

Im Bereich der Bioanalytik wird ein Point-of-Care-Test auf der Basis der oberflächenverstärkten Ramanspektroskopie entwickelt. Mit Hilfe dieses Tests sollen Spuren von Biomarkern in Körperflüssigkeiten erkannt werden.

Neben der Erfassung der Daten durch die photonische Messtechnik bildet die Erforschung der automatisierten Datenauswertung bei komplexeren Informationen einen weiteren Schwerpunkt. Beispiele hierfür sind die Detektion von Schadstoffen in Abwasser und die Bestimmung von CO₂-Emissionen im Abgas.

The department explores and develops novel sensory measurement procedures mainly based on Raman scattering, fluorescence, IR absorption, as well as ion mobility spectrometry, often combined with sample pretreatment methods and chemometric analysis.

The strengths of the optical methods are that they lead to nondestructive, contact-free, and fast measurement of substances, structures, complex matrices, and biological systems.

A great potential for innovative applications arises from the combination of optical spectroscopy with microfluidics, nanotechnology, or chemometry in areas including environmental analysis, on-site analysis, bioanalysis, and process control.

The group develops a point-of-care-test based on surface-enhanced Raman spectroscopy in the field of bioanalysis. Traces of specific biomarkers should thereby be detected in body fluids.

Besides the recording of data through photonic sensors, the exploration of automated data evaluation of complex information is a major topic. Examples for that are the detection of pollutants in sewage and the determination of CO₂ emissions in exhaust gas.



Dr. Hainer Wackerbarth
Abteilungsleiter

☎ +49-(0) 551/5035-58

📠 +49-(0) 551/5035-99

✉ hainer.wackerbarth@llg-ev.de

Mitarbeiter

Staff members

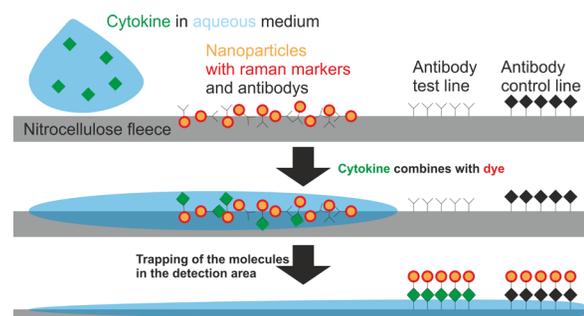
Dr. Georgios Ctistis
Dr. Christoph Lenth
Simon Göllner
Anas Hussin
Fabian Müller
Christian Niklas
Vera Schalles
Stefan Scholz
Florian Wieduwilt

Photonische Sensorik

Photonic Sensor Technologies

Entwicklung eines leistungsfähigen Analysators zum Ablesen von Lateral-Flow-Tests (LFTs) mit Hilfe der oberflächenverstärkten Raman-Spektroskopie (SERS)

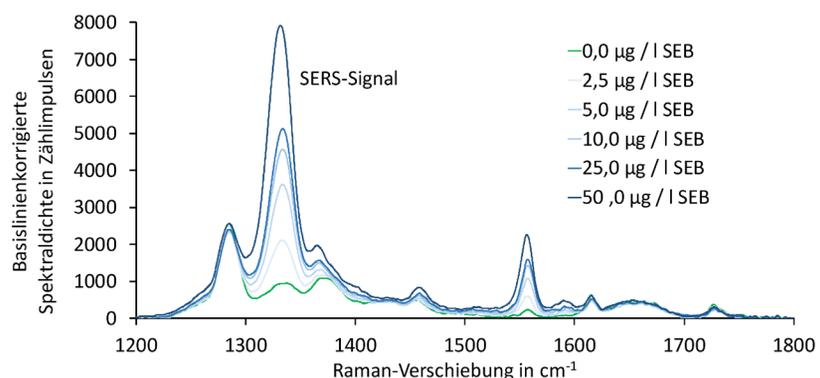
Der Nachweis von Zytokinen ist ein wichtiges Thema in der Tiermedizin. Traditionelle Labormethoden der Humanmedizin sind hierbei zu teuer, so dass Lateral Flow Tests (LFTs) eine willkommene Alternative darstellen. Leider weisen diese Tests selbst bei automatisierter Auslesung unter Verwendung von Fluoreszenzfarbstoffen zu niedrige Nachweisgrenzen auf. Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines



◀ Schematische Darstellung des Funktionsprinzips eines Lateral Flow Tests. Schematic of the functional principle of a lateral flow test.

neuen Auslesesystems mit Raman-aktiven Farbstoffen. Dies klingt zunächst aufgrund der geringen Quanteneffizienz der Raman-Streuung widersprüchlich. Bei Raman-Farbstoffen kann jedoch der Effekt der oberflächenverstärkten Raman-Signalverstärkung genutzt werden. Oberflächenverstärkung tritt auf, wenn sich Moleküle in der Nähe einer nanostrukturierten Edelmetalloberfläche befinden. Dabei tritt eine Feldverstärkung durch die Kopplung des Lichts mit den Oberflächenplasmonen der Metalloberfläche auf.

Als Farbstoffe kommen bei LFTs oft Silber- oder Gold-Nanopartikel zum Einsatz. Solche Partikel können so gestaltet werden, dass besagte Oberflächenplasmonen in ihnen angeregt werden können. Die Sternform der Partikel sorgt hierbei dafür, dass sich der Verstärkungseffekt unabhängig davon nutzen lässt, ob die Partikel Aggregate bilden oder nicht. Die schmalen Raman-Banden lassen sich hervorragend vom Signaluntergrund unterscheiden, wodurch niedrige Nachweisgrenzen und Multiplex-Tests zur gleichzeitigen Detektion mehrerer Zytokine möglich sind.



▲ Spektren der Testlinie von LFTs für den Musteranalyten Staphylococcus Entrotoxin B (SEB). Raman spectra from the test line of LFTs with the analyte Staphylococcus Entrotoxin B (SEB).

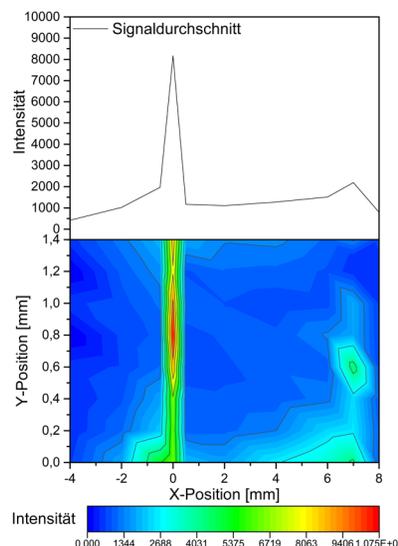
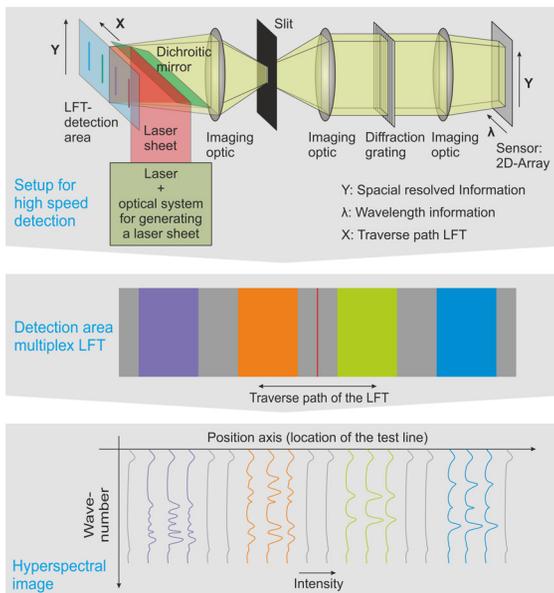
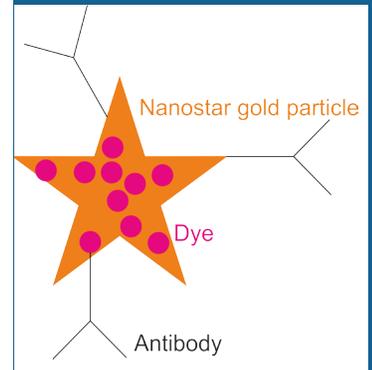
Photonische Sensorik

Photonic Sensor Technologies

Development of a powerful analyzer and a chemometric procedure for the readout of lateral flow tests (LFTs) by means of surface-enhanced Raman scattering (SERS)

The detection of cytokines is an important issue in, e.g. veterinary medicine. Traditional laboratory methods used in human medicine are often too expensive. Therefore, lateral flow tests (LFTs) pose a welcome alternative. Unfortunately, these tests show insufficient detection limits, even if detection is performed with an automated readout using fluorescent dyes. The project's aim is the development of a new readout mechanism based on Raman-active dyes. This might sound contradictory due to the inherently low quantum efficiency of Raman scattering. Yet, using Raman-active dyes, surface-enhanced Raman effects can be exploited. The effect becomes strong, when a molecule comes into the vicinity of a nanostructured noble metal surface. Thereby, the field enhancement is due to the coupling of the light with the surface plasmons of the metal surface.

As dyes, either silver or gold nanoparticles are often used in LFTs. The particles can be designed in such a way that surface plasmons can be excited. The shape of the particles, i.e. the nanostars, ensures that the reinforcing effect can be used regardless of whether the particles form aggregates or not. The narrow Raman bands can be easily distinguished from the signal background, which enables low detection limits and multiplex tests for the simultaneous detection of several cytokines.



▲
Apparatur und Funktionsprinzip zum Auslesen des LFTs.
Functional principle and setup for readout of the LFTs.

▲
Abrasterversuch eines LFTs mit deutlicher Nanosternbelegung an der Kontrolllinie.
Scan across an LFT with a high concentration of nanostars at the control line.

Photonische Sensorik

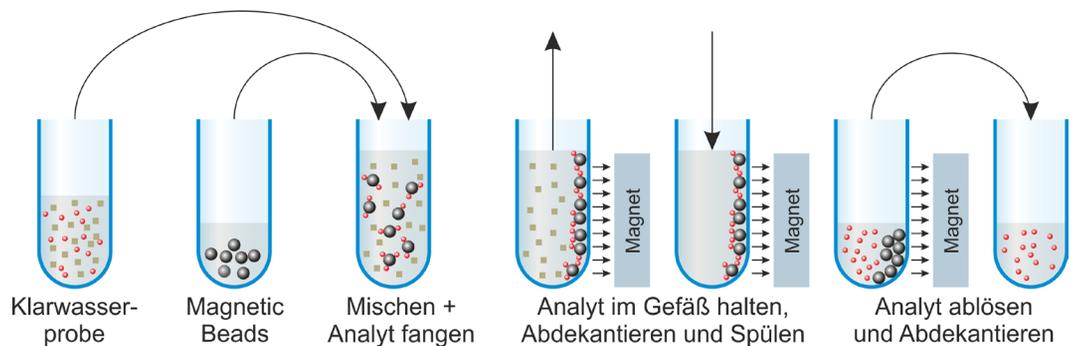
Photonic Sensor Technologies



Detektion von Arzneimittelrückständen im Abwasser

Über Haushaltsabwässer gelangen große Mengen an Arzneimittelrückständen in die kommunalen Kläranlagen. Diese stellen ein latentes Umweltproblem dar, wenn sie nicht durch den Klärprozess zurückgehalten werden. Für die Bestimmung dreier Leitsubstanzen, die sich im Abwasser finden lassen, Carbamazepin (Antiepileptikum), Diclofenac (Schmerzmittel und Entzündungshemmer) und Sulfamethoxazol (Antibiotikum) sind bisher nur aufwändige Laborverfahren auf Basis der Massenspektrometrie standardisiert. Ziel ist die Entwicklung eines Verfahrens, bei dem die oberflächenverstärkte Raman-Spektroskopie (SERS) als analytische Methode zur selektiven Detektion dieser Arzneimittelrückstände eingesetzt wird.

In einem durch das BMBF geförderten Projekt wurde ein Verfahren erforscht, welches zum einen auf der oberflächenverstärkten Raman-Spektroskopie (SERS) als optischer Messtechnik beruht. Zum anderen ist mit der Matrix-Abtrennung unter Einsatz von magnetischen Mikro- und Nanopartikeln (Magnetic Beads) eine Extraktionstechnik aus der Bioanalytik adaptiert worden. Hintergrund ist, dass sich die oberflächenverstärkte Raman-Spektroskopie als durchaus geeignete Methode für die Identifizierung und Quantifizierung von Arzneimittelmolekülen im Spurenbereich erwiesen hat. Da sie aber auf der Adsorption von Molekülen an Edelmetall-Oberflächen beruht, versagt diese Methode bei komplexen Matrices wie dem Klarwasser aus dem Kläranlagenablauf, da die Moleküle der zahlreichen Inhaltsstoffe bei der Adsorption in Konkurrenz zu den Analytmolekülen treten. Dieses Problem wird durch selektive Adsorption mittels Antikörpern gelöst. Die Experimente wurden mit neuen Substraten (AMO Typ-C, C7, siehe Rasterelektronenmikroskopie Seite 73) unseres Partners, der AMO GmbH durchgeführt.



Anreicherung des Analyten mit Hilfe von „Magnetic Beads“: (1) Adsorbieren, (2) Abtrennen der Probenmatrix und (3) Ablösen des Analyten von den Magnetpartikeln.

Enrichment of the analyte using magnetic beads: (1) adsorption, (2) separation of the sample matrix, and (3) detaching the analyte from the magnetic particles.

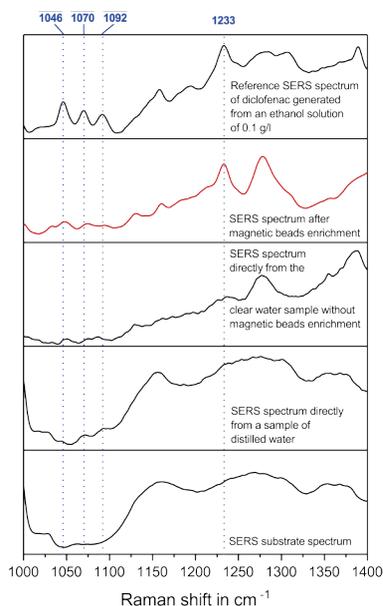
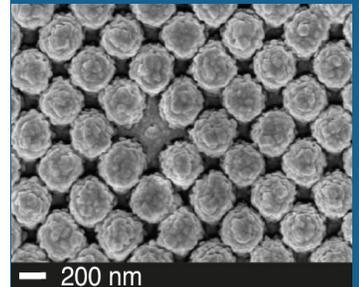
Photonische Sensorik

Photonic Sensor Technologies

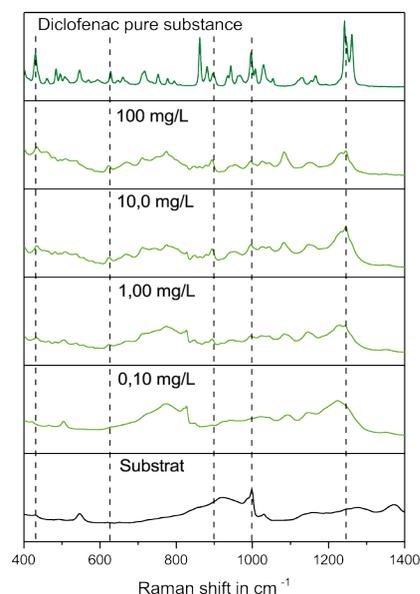
Detection of medical residues in sewage

Large amounts of medical residues end up in municipal sewage treatment plants by means of domestic wastewater. Medical residues like carbamazepine (anticonvulsant), diclofenac (analgetic and anti-inflammatory), and sulfamethoxazole (antibiotic) present thereby a latent environmental problem if they are not retained by sewage treatment plants. For the identification of these medical residues, only elaborate lab procedures based on mass spectrometry are standardized. Our goal is the development of a procedure based on surface-enhanced Raman scattering (SERS) spectroscopy as an analytical method for the selective detection of medical residues.

In a project, funded by the Federal Ministry of Education and Research, a method was investigated, which is based on surface-enhanced Raman spectroscopy as an optical measurement technique. Moreover, we tested a method to extract the analyte from the matrix. The extraction technique, utilising magnetic micro- and nanoparticles (magnetic beads), has been adapted from bio-analytics. The background is that surface-enhanced Raman spectroscopy has proven to be a very suitable method for the trace-level identification and quantification of drug molecules. However, since it is based on the adsorption of molecules on nanostructured metal surfaces, this method fails with complex matrices, such as the clear water from the wastewater treatment plant drain, because the molecules of the numerous ingredients compete with the analyte molecules during adsorption. This problem is solved by selective adsorption using antibodies. For the experiments, new substrates (AMO C-type, C7, see scanning electronic microscopy imaging on the right), which were developed by our partner AMO GmbH, were used.



▲ SERS-Spektren von Diclofenac, erzeugt mit verschiedenen konzentrierten Lösungen, im Vergleich zu den Substrat- und Reinstoffspektrumen.
SERS spectra of Diclofenac generated with different concentrated solutions compared to the substrate and pure substance spectrum.



▲ Ergebnis Anreicherungsversuch von Diclofenac aus Klarwasser (145 µg/l).
Result of diclofenac enrichment test from clear water (145 µg / l).

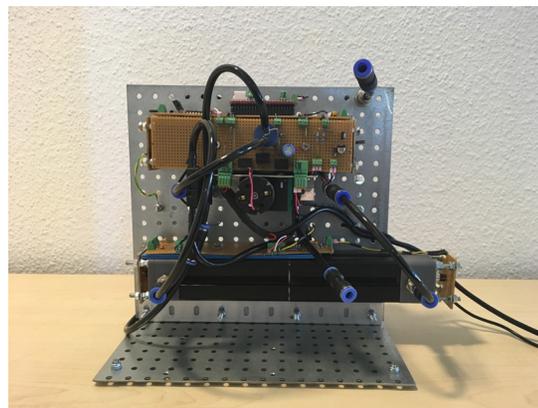
Photonische Sensorik

Photonic Sensor Technologies

Entwicklung eines optischen Sensors zur Überwachung der Abgaszusammensetzung in kleinen Feuerungsanlagen

Im Jahr 2018 gab es etwa 13 Millionen Gasheizkessel, 5,4 Millionen Ölheizkessel und 0,9 Millionen Heizkessel für feste Brennstoffe. Zudem kamen zu diesen Zahlen noch etwa 11,2 Millionen Einzelraumfeuerungsanlagen, bei welchen es sich unter anderem um Kaminöfen oder Kachelöfen handelt, welche mit Holz oder Kohle beheizt werden.

Nach Bundes-Immissionsschutzverordnung für kleine und mittlere Feuerungsanlagen unterliegen die durch die zuvor genannten Elemente verursachten Abgase strengen Grenzwerten. Diese sind bedingt durch Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz. Wichtige Parameter sind hierbei Kohlenmonoxid (CO), Sauerstoff (O₂), sowie Kohlenstoffdioxid (CO₂), welches wegen seiner Klimaschädlichkeit die größte Aufmerksamkeit erhält. Marktdominante Sensoren für diese Gase sind unter anderem elektrochemisch oder halbleiterbasiert, besitzen jedoch diverse Nachteile, wodurch es einer anderen Methodik bedarf.



◀ Funktionsmuster des kombinierten CO₂-CO-O₂-Sensors.
Setup of the combined CO₂-CO-O₂ sensor.

Ziel unserer Arbeiten gemeinsam mit der Vereta GmbH ist die Entwicklung eines optischen Sensors zur simultanen Konzentrationsmessung von CO, CO₂ und O₂ im Abgasstrom von Verbrennungsanlagen. Hierbei wird für die Gase CO₂ und CO die nichtdispersive Infrarotspektroskopie (NDIR) genutzt, bei welcher die Intensität des eingestrahlten Lichts durch Absorption an Molekülen abfällt. Dieser Zusammenhang kann durch das Lambert-Beersche Gesetz beschrieben werden und liefert einen direkten Zusammenhang zur gesuchten Gaskonzentration. Für CO₂ wurde eine Auflösung von knapp 140 ppm und für CO eine Auflösung im zweistelligen ppm- Bereich erzielt.

Des Weiteren wurde mithilfe der Ramanstreuung die Konzentration von O₂ bestimmt. Diese entsteht durch inelastische Streuung von Licht an Molekülen, wodurch es zu einer Wellenlängenverschiebung kommt. Das so wellenlängenverschobene Licht ist molekulspezifisch (sog. Fingerabdruck) und gibt damit Aufschluss auf die Art und Menge der untersuchten Probe. Da die Ramanstreuung jedoch einen geringen Wirkungsquerschnitt hat, wurden photonische Kristallfasern mit Hohlkern als Verstärkung genutzt. Der Hohlkern kann hierbei mit dem gewünschten Analyten gespült werden und die Kristallfaser leitet das Licht aufgrund der ihr zugrundeliegenden photonischen Bandlücke. Hiermit wurde erfolgreich die Atmosphärenkonzentration von O₂ und N₂ gemessen. Darüber hinaus ist auch die gleichzeitige Messung von CO₂ gelungen. Hier konnten noch Konzentrationen von 0,6 % gemessen werden.

Photonische Sensorik

Photonic Sensor Technologies

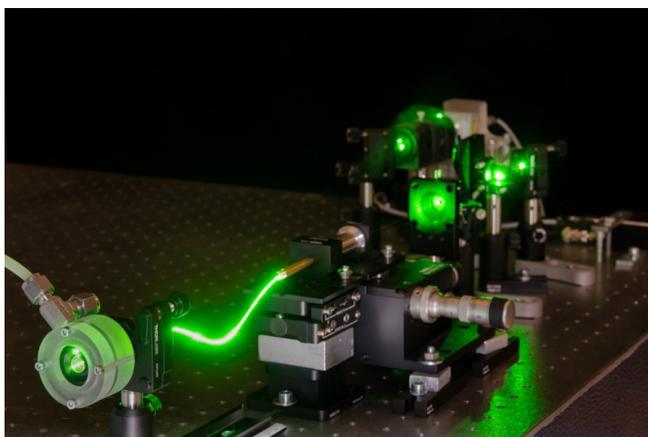
Development of an optical sensor to control exhaust gases in small firing places

In 2018 in Germany, there were approximately 13 million gas boilers, 5.4 million oil heating boilers, and 0.9 million heating boilers for solid burning materials. Furthermore, there were approximately 11.2 million fireplaces or tile ovens, which operate with either wood or coal.

The "Federal Emissions Protection Regulation" regulates and limits the allowed emission of the exhaust gases, especially of CO and CO₂, having in mind the protection of human health and the environment.

The goal of our work in collaboration with Vereta GmbH, is the development of an optical sensor for the simultaneous measurement of the concentrations of CO, CO₂, and O₂ in the exhaust gas of firing systems. For the gases CO and CO₂ we use non-dispersive infrared spectroscopy (NDIR) as the measurement technique, in which the light intensity decreases proportionally to the amount of the absorbing molecules, ruled by the Beer-Lambert law. For CO₂ we achieved a resolution of 140 ppm and for CO, the resolution was below 100 ppm.

In addition, we measured O₂ by means of Raman scattering. The detected light in Raman spectroscopy originates from inelastically scattered light off the molecules and is specific for the molecule itself. Since Raman scattering has low efficiency, it has not been used for measuring gaseous analytes. To enhance the scattering efficiency and thereby the Raman signal, we used hollow-core photonic crystal fibers. The core is thereby filled with the analyte. The light cannot escape the core due to the guiding mechanism exploiting the photonic bandgap of the fiber. We achieved in a first setup the simultaneous measurement of N₂, O₂, and CO₂, with a concentration of the latter of 0.6 %.



▲ Aufbau zur Messung von O₂ mittels Raman-Streuung unter Zuhilfenahme einer photonischen Kristallfaser. Die Einkopplung des Gases ist vorne sichtbar.

Setup for the measurement of O₂ by means of Raman scattering using a photonic crystal fiber. The gas coupling chamber is at the front.

Photonische Sensorik

Photonic Sensor Technologies

Brandfrühwarnsystem für Lithium-Ionen-Akkumulatoren

Ein Bestandteil des Maßnahmenpakets der Bundesregierung für die Energiewende ist der Ausbau der Elektromobilität mit dem Ziel, dass bis 2020 eine Million E-Fahrzeuge auf deutschen Straßen fahren. Hierfür werden Lithium-Ionen-Akkus benötigt. Wie bei allen neuen Techniken, bringt auch diese Gefahren mit sich. So kann es bei verschiedenen Lithium-Ionen-Akkus mit flüssigen oder polymeren Elektrolyten zum thermischen Durchgehen kommen, das oft mit Selbstentzündung oder Explosion endet. Auslöser sind häufig Unfälle, wobei der Zeitpunkt zwischen Havarie und Unfall mehrere Tage betragen kann. Aber auch beim Laden sind solche Vorfälle bekannt. Die Früherkennung der Akkuhavarie mit dem Ziel der Schadensbegrenzung ist Gegenstand der hier vorgestellten Forschung und Entwicklung.

Von den in den Lithium-Ionen-Akkus ablaufenden komplexen Prozessen ist bekannt, dass bei dem thermischen Durchgehen chemische Reaktionen stattfinden, bei denen flüchtige organische Verbindungen freigesetzt werden. Diese sollen zur Detektion einer bevorstehenden Havarie genutzt werden. Viele der ausgasenden Stoffe sind giftig oder neigen an der Luft zur Bildung explosionsfähiger Gemische.



Substanz	Konzentration
Dimethylcarbonat	37,0 %
Ethylencarbonat	34,2 %
Benzol	7,7 %
Nonen	5,2 %
Fluorwasserstoff	796 ppm
Chlorwasserstoff	24 ppm

Schadgaszusammensetzung nach künstlich ausgelöster Havarie einer Pouch-Zelle.

◀ Pollutant gas composition measured after an artificially triggered runaway in a pouch cell.

Im Zuge unserer Forschungsarbeiten ist ein Explosionsschutzbehälter konstruiert worden. Dieser ist mit Sensorik versehen, die den zeitlichen Ablauf der Havarie sowie die Gaszusammensetzung detektieren kann. Als Sensorik werden für den zeitlichen Verlauf Ionenmobilitätsspektrometer und Halbleitersensoren verwendet. Die Zusammensetzung wird mittels Festphasenmikroextraktion mit anschließender gaschromatographischer Trennung bestimmt, wobei Massenspektrometer und Vor-Ort Ionenmobilitätsdetektoren verwendet werden. Die Havarie kann mechanisch, thermisch oder durch Überladen ausgelöst werden.

Die Sensorik wird mit automatischen Lösch- und Abschottungsvorrichtungen der Stöbich technology GmbH verbunden werden. So können verunfallte Fahrzeuge sicher gelagert oder Ladestationen gesichert werden.

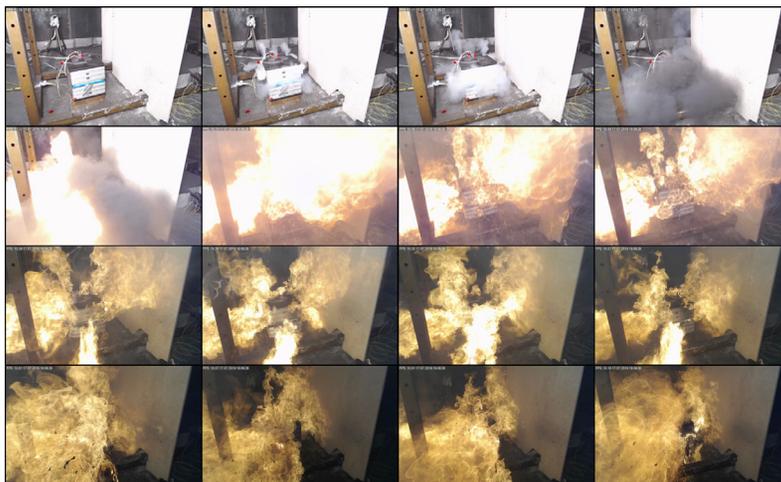
Photonische Sensorik

Photonic Sensor Technologies

Early fire warning system for lithium-ion batteries

One aspect of the Federal Government's package of measures for the energy transition is the expansion of electromobility - with the goal of one million electric vehicles driving on German roads by 2020. For this, lithium-ion batteries are required. As with all new techniques, this also entails dangers. Different lithium-ion batteries with liquid or polymer electrolytes can cause thermal runaway, which often ends in spontaneous combustion or explosion. Such incidents are often triggered by car accidents, although the time between the accident and the runaway of the battery can last up to several days. Such incidents are also known during the loading procedure. The early detection of the battery runaway with the aim of limiting damage is the subject of the research and development presented here.

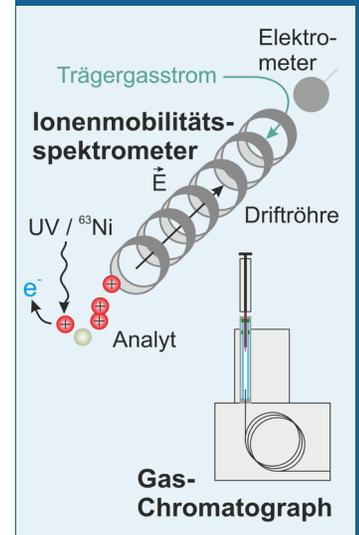
It is known from the complex processes taking place in lithium-ion batteries that chemical reactions are involved in the thermal runaway which release volatile organic compounds. These are to be used to detect the impending runaway. Many of the outgassing substances are toxic or tend to form explosive mixtures in the air.



▲
*Havarie eines Pouch-Zellen-Moduls aus der Fahrzeugtechnik.
Runaway of a pouch cell module for automotive engineering.*

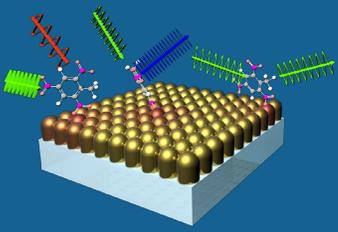
An explosion protection container was constructed in the course of our research work. It is equipped with sensors that can detect the chronological sequence of the runaway and the gas composition. Ion mobility spectrometers and semiconductor sensors are used to monitor the time dependence. The composition is detected by means of solid phase micro extraction with subsequent GC separation, using MS and on-site ion mobility detectors. The runaway can be triggered mechanically, thermally or by overloading.

The sensors will be connected to automatic extinguishing and partitioning devices from Stöbich technology GmbH. Thus the Vehicles involved in an accident can be stored safely or charging stations secured.



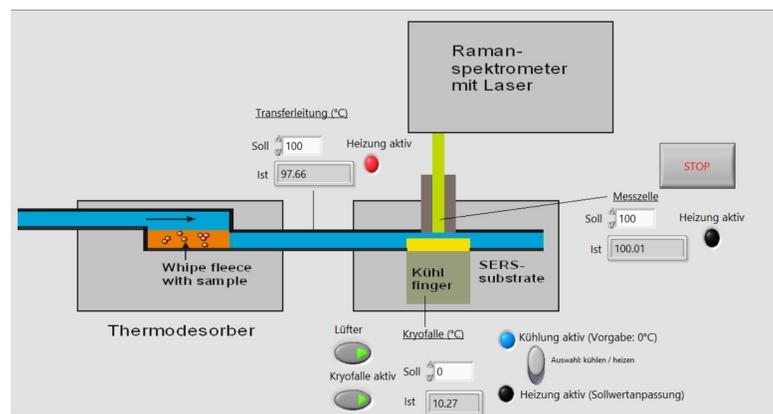
Photonische Sensorik

Photonic Sensor Technologies



Oberflächenverstärkte Raman-Spektroskopie in Kombination mit Kryofokussierung zur Explosivstoffdetektion

Sprengstoffdetektion ist – wie der Fund eines hochgefährlichen Sprengstoffs im Oktober 2016 in Chemnitz zeigte – ein sehr aktuelles und brisantes Thema. Die oberflächenverstärkte Raman-Spektroskopie ermöglicht das schnelle, fehlerfreie Aufspüren vieler Explosivstoffe, darunter auch Triacetontriperoxid (kurz: TATP). Dieser Sprengstoff wurde in Chemnitz sichergestellt und bei den Terroranschlägen im November 2015 in Paris verwendet.



Bedienoberfläche des Funktionsmusters zur Explosivstoffdetektion mittels Surface-enhanced Raman Spectroscopy (SERS).

User interface of the apparatus for the detection of explosives by means of surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS).

Spuren von Explosivstoffen auf Kleidung oder an Gepäckstücken werden mittels sogenannter Wischtests von einem Vlies aufgenommen, welches aufgeheizt wird, um die verdampfenden Komponenten zu analysieren. Die geringen Substanzmengen stellen für die Raman-Spektroskopie, die so charakteristisch wie ein Fingerabdruck ist, eine große Herausforderung dar. Ein zentrales Anliegen unserer Forschung ist, die Nachweisgrenzen von Raman-basierten Analyseverfahren anhand des oberflächenverstärkten Raman-Effekts zu senken. Erst durch die Adsorption der Moleküle an einem plasmonischen Substrat werden die Signale bei diesen Verfahren so verstärkt, dass die Detektion von geringsten Konzentrationen, sprich eine Spurenanalytik, ermöglicht wird. Als plasmonische Substrate werden nanostrukturierte Edelmetalloberflächen eingesetzt. Um die Sprengstoffmoleküle auf dem plasmonischen Substrat zu sammeln, wird das Prinzip der thermischen Abscheidung genutzt. Dazu befindet sich die nanostrukturierte Oberfläche auf einem Kühlfinger. An diesem werden die zu analysierenden Substanzen, welche mittels der Thermodesorptionseinheit aus dem Vlies ausgeheizt worden sind, auf einer minimalen Fläche wieder abgeschieden. Durch ein spezielles Lötverfahren, wurde die Herausforderung gelöst eine mechanisch stabile Verbindung von plasmonischen Substrat und Kühlfinger herzustellen. Schließlich wurde eine Steuerung für die Temperierung der einzelnen Komponenten (Kühlfinger, Messzelle, Transferleitung) einschließlich Software und Bedienoberfläche entwickelt. Mit diesem Funktionsmuster konnten 60 ng TNT nachgewiesen werden.

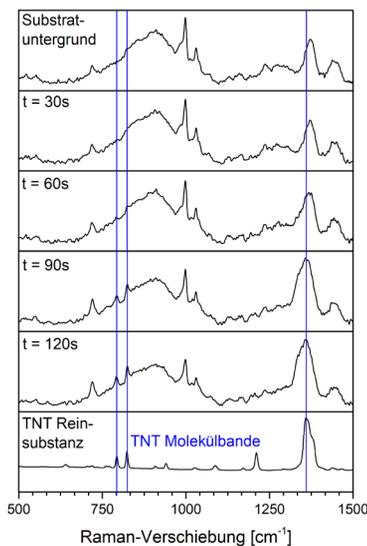


Photonische Sensorik

Photonic Sensor Technologies

Surface-enhanced Raman spectroscopy in combination with cryofocussing for detection of explosives

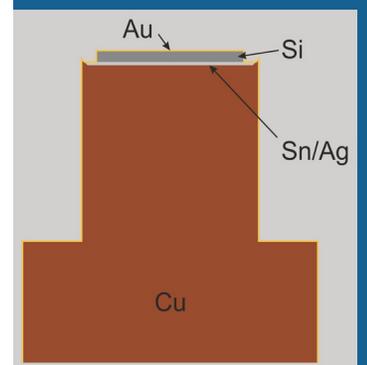
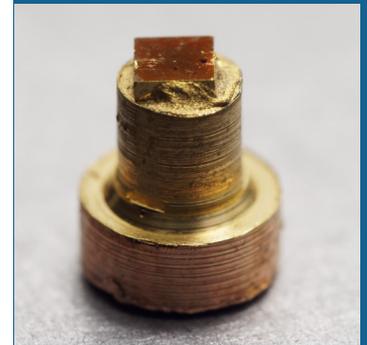
Explosive detection is - as shown by the discovery of a high-risk explosive in Chemnitz in October 2016 - a highly topical and pressing issue. SERS-spectroscopy enables rapid, faultless detection of different classes of explosives including triacetone triperoxide (short:TATP). This explosive was confirmed in Chemnitz and was used in the terror attacks in Paris in November 2015.



◀ SERS-Spektren von 60 ng TNT, gemessen auf dem Kühlfinger der Messkammer. Zusätzlich dargestellt ist das Reinstoffspektrum von TNT. SERS-spectra of 60 ng TNT measured on the tempering finger of the measurement chamber. Additionally, the pure TNT Raman spectrum is shown.

Traces of explosives on clothing or on luggage are picked up with a fleece by means of the so-called wiping tests. The fleece is heated to analyse the vaporizable components. The low amounts of the substances are a big challenge for Raman spectroscopy, which is as characteristic as a fingerprint. A central concern of our research is to reduce the detection limits of Raman spectroscopy by means of the surface-enhanced Raman effect. The adsorption of the molecules on a plasmonic substrate is a prerequisite for the enhancement of the Raman signals. Thereby the detection of the lowest concentrations, i.e. trace analysis, is possible. Nano-structured noble metal surfaces are used as plasmonic substrates. The principle of thermal deposition is used to gather the explosive molecules on the plasmonic substrate. For this purpose, the nano-structured surface is located on a cooling finger. On to this surface, the substances to be analyzed, which have been baked out of the fleece by means of the thermal desorption unit, are redeposited on a minimal area. Due to a special soldering process, the challenge generating a mechanically stable connection between plasmonic substrate and cooling finger has been solved.

Finally, a controller for the temperature of the different components (cooling finger, measuring chamber, transfer line) including software and user interface has been developed. Using this functional model, 60 ng TNT could be detected.



Projekte

Projects

Projekt COCO-Sense:

Kombinierter optischer CO/CO₂/O₂ Sensor zur Überwachung von Abgaszusammensetzungen nach 1. Bundes-Immissionsschutzverordnung, gefördert vom BMWi im Rahmen des Programms ZIM

Projekt CERS-Pro:

Resonatorverstärkte Raman-Spektroskopie für die Prozessanalytik, gefördert von WIPANO des BMWi „Öffentliche Forschung – Weiterentwicklung von Erfindungen“

Projekt DruckSens:

Eingebettete Wellenleiter in Silikon zur Herstellung eines faseroptischen Drucksensors, gefördert vom BMWi (WIPANO - Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen)

Projekt DIMAPRO:

Diffraktive Markierung von Hartmetall und Hartbeschichtung für Design und Produktschutz, gefördert vom BMWi (WIPANO - Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen)

Projekt Glas-BRIT:

Glasmarkierung via Breakpoint-Induced-Triggering, gefördert vom BMWi (WIPANO - Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen)

Projekt GlaSiDeE:

Glasmarkierung mit Laser als Sicherheits-, Identifikations- und Design-Element, gefördert vom BMWi (ZIM-Netzwerk NesSi)

Projekt Hohlfaseranordnung zur Komprimierung leistungsstarker ultrakurzer Pulse,

Entwicklung und Aufbau, finanziert durch Auftraggeber

Projekt LaDiVo:

Laserunterstützter Digitaldruck keramischer Farben auf vorgespanntem Glas, gefördert vom BMWi (ZIM)

Projekt Laser-Implant:

Laserimplantation plasmonisch wirksamer Nanopartikel in Glas, gefördert vom BMWi (ZIM)

Projekte

Projects

Projekt Mark4Live:

Neue Generation von Markierungstechnologie für die Lebendzell-Nanoskopie,
gefördert vom BMWi (ZIM)

Projekt NanoVidere:

Schnelle monochromatische Reflexionsnanoskopie mittels Absorptionsmodulation,
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)

Projekt NanoInteraction:

The mitochondrion-plasma membrane interaction at super resolution microscopy,
gefördert im Rahmen des Programms Niedersachsen, vorab der Volkswagenstiftung

Projekt NesSi - SÜLa:

Brandfrühwarn- und Schutzsystem für das Überwachen von Lithiumakkumulatoren,
gefördert vom BMWi im Rahmen des Programms ZIM

Projekt NesSi - InGesWoh:

Sensorik und Gütekriterium für die Raumluftqualität,
gefördert vom BMWi im Rahmen des Programms ZIM

Projekt Paladin:

Hochaufgelöste, parallelisierte Laser-Direktstrukturierung zur Erzeugung individualisierter computergenerierter Hologramme auf Metallen und Halbleitern,
gefördert vom BMWi (ZIM-Netzwerk UKPL)

Projekt PPA-LFT-Reader:

Entwicklung einer hochsensitiven Auswerteeinheit und chemometrischen Verfahren für das Lesen von Lateral-Flow-Tests unter Nutzung des "surface enhanced resonance Raman Scattering"-Effekts (SERRS),
gefördert vom BMWi im Rahmen des Programms ZIM

Projekt RaCoLas:

Randscharfe Coatings durch Laserstrukturierung,
gefördert mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE/Niedersachsen)

Projekte

Projects

Teilprojekt SFB A01:

isoSTED microscopy for live cell imaging,
gefördert im Rahmen des SFB755 Nanoscale Photonic Imaging

Teilprojekt SFB755 A06:

Statistical reconstruction methods for time-varying nanoscale imaging problems,
gefördert im Rahmen des SFB755 Nanoscale Photonic Imaging

Projekt SpannForm:

Kontinuierliche Freiformoberflächen durch laserinduzierte Modifikation schichtspannungsinduzierter Verformung,
gefördert vom BMWi (WIPANO - Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen)

Projekt Spectacular:

Spektrale Verbreiterung von Hochleistungspulsen in gestreckten Hohlfasern,
gefördert vom BMWi (WIPANO - Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen)

Projekt Sub-100nm:

Erzeugung deterministischer Nanostrukturen durch ultrakurze UV-Pulse unter vordefinierten Grenzflächenbedingungen: Theorie und Experiment,
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)

Projekt TomoSTED-Mikroskopie:

Hochauflösende Fluoreszenzmikroskopie bei reduzierter Lichtdosis und unverminderter Bildqualität,
gefördert vom BMWi (WIPANO - Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen)

Projekt VAMINAP:

Vor-Ort-Überwachung von Arzneirückständen, Mikro- und Nanopartikeln im Ablauf städtischer Kläranlagen mittels photonischer Verfahren,
gefördert vom BMBF

Publikationen

Publications

J. Holburg, M. Müller, K. Mann, S. Wieneke:

Brilliance improvement of laser-produced extreme ultraviolet and soft X-ray plasmas based on pulsed gas jets, *Journal of Vacuum Science and Technology A* 37, 031303 (2019)

M. Müller, M. Schellhorn, K. Mann:

Laboratory-scale near-edge X-ray absorption fine structure spectroscopy with a laser-induced plasma source, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 34, 1779 (2019)

M. Vergöhl, C. Britze, S. Bruns, A. Pflug, J. Zimara, B. Schäfer, K. Mann, V. Kirschner:

Uniformity and wavefront control of optical filters, *Proc. SPIE 11180, International Conference on Space Optics-ICSO 2018*, 1118046 (2019)

C. Niklas, S. Bauke, F. Müller, K. Golibrzuch, H. Wackerbarth, G. Ctistis:

Quantitative measurement of combustion gases in harsh environments using NDIR spectroscopy, *Journal of Sensor and Sensor Systems* 8, 123-132 (2019)

V.V. Srabionyan, M. Heinz, S.Y. Kaptelinin, L.A. Avakyan, G.B. Sukharina, A.V. Skidanenko, V.V. Pryadchenko, K.G. Abdulvakhidov, A.S. Mikheykin, V.A. Durymanov, J. Meinertz, J. Ihle-mann, M. Dubiel, L.A. Bugaev:

Effect of thermal post-treatment on surface plasmon resonance characteristics of gold nanoparticles formed in glass by UV laser irradiation, *Journal of Alloys and Compounds* 803, 354 (2019)

L. J. Richter, C. Beckmann, J. Meinertz, J. Ihlemann:

Fabrication of Multilevel Fused Silica Diffractive Phase Elements by Laser Processing of Silicon Suboxide, *DGaO-Proceedings A32* (2019)

J. Meinertz, J. Ihlemann:

Effiziente diffraktive Markierung von Glasoberflächen mittels ArF-Excimerlaser, *DGaO-Proceedings P30* (2019)

Publikationen

Publications

J.-H. Klein-Wiele, T. Fricke-Begemann, P. Simon, J. Ihlemann:

Complex diffractive surface patterns on metals by UV-ps laser ablation, *Optics Express* 27, 28902 (2019)

S. Rung, K. Bokan, F. Kleinwort, S. Schwarz, P. Simon, J.-H. Klein-Wiele, C. Esen, R. Hellmann:

Possibilities of Dry and Lubricated Friction Modification Enabled by Different Ultrashort Laser-Based Surface Structuring Methods, *Lubricants* 7, 43 (2019)

N. G. Khodakovskiy, M. P. Kalashnikov, V. Pajer, A. Blumenstein, P. Simon, M. M. Toktamis, M. Lozano, B. Mercier, Z. Cheng, T. Nagy, R. Lopez-Martens:

Generation of few-cycle laser pulses with high temporal contrast via nonlinear elliptical polarisation rotation in a hollow fibre compressor, *Laser Phys. Lett.* 16 095001 (2019)

T. Nagy, S. Hädrich, P. Simon, A. Blumenstein, N. Walther, R. Klas, J. Buldt, H. Stark, S. Breilkopf, P. Jójárt, I. Seres, Z. Várallyay, T. Eidam, J. Limpert:

Generation of three-cycle multi-millijoule laser pulses at 318 W average power, *Optica* 6, 1423 (2019)

Konferenzbeiträge

Conference contributions

S. Lange, T. Mey, B. Schäfer, B. Keitel, M. Kuhlmann, M. Ruiz-Lopez, T. Burian, T. Wodzinski, E. Plönjes, K. Mann:
FEL beam characterization from measurements of the Wigner distribution function, Desy User Meeting 2019, Hamburg, (01.2019)

M. Meyer, K. Mann, S. Lange et al.:
Commissioning of the SQS instrument at European XFEL
Desy User Meeting 2019, Hamburg, (01.2019)

M. Meyer, K. Mann, S. Lange et al.:
Commissioning of the SQS instrument at European XFEL,
Desy User Meeting 2019, Hamburg, (01.2019)

K. Mann, J. Holburg, S. Lange, M. Müller, B. Schäfer:
Table-top EUV / Soft X-ray Source for Metrological Applications,
SPIE Advanced Lithography, San Jose, USA (02.2019)

K. Mann:
Characterization of absorptance and thermally induced wavefront deformations in DUV lithography optics
Fa. KLA, Milpitas / USA (02.2019)

M. Müller, J. Holburg, K. Mann:
Soft X-ray spectroscopy and microscopy using a table-top laser-induced plasma source, COST Action CA 17126, 1st Working Group Meeting,
Universidade do Porto, Portugal (03.2019)

A. Egner:
isoSTED microscopy in living cells, International Symposium on Nanoscale Photonic Imaging, Venedig, Italien (03.2019)

F. Wieduwilt, C. Lenth, U. Plachetka, H. Wackerbarth:
Detektion von Arzneimitteln in Abwässern durch oberflächenverstärkte Raman-Spektroskopie, ANAKON 2019, Münster, Deutschland (03.2019)

G. Ctistis, C. Niklas, F. Müller, H. Wackerbarth:
Quantitative measurement of CO with non-dispersive infrared absorption spectroscopy, DPG-Frühjahrstagung 2019, Rostock, Deutschland (03.2019)

K. Mann:
Propagation characteristics of extreme UV and soft X-ray sources - applications in microscopy and absorption spectroscopy
SFB755 „Nanoscale Photonic Imaging“ Abschluss-symposium,
Venice International University, Venedig, Italien (03.2019)

Konferenzbeiträge

Conference contributions

M. Müller, J. Holburg, K. Mann:

Applications of a table-top laser-induced soft X-ray plasma source
SFB755 „Nanoscale Photonic Imaging“ Abschluss Symposium, Venice
International University, Venedig, Italien (03.2019)

**S. Lange, T. Mey, B. Schäfer, B. Keitel, M. Kuhlmann, M. Ruiz-Lopez,
T. Burian, T. Wodzinski, E. Plönjes, K. Mann:**

FEL beam characterization from measurements of the Wigner distribution
function SFB755 „Nanoscale Photonic Imaging“, Abschluss Symposium,
Venice International University, Venedig, Italien, (03.2019)

**C. Lenth, F. Wieduwilt, G. Ctistis, J. Banett, U. Plachetka,
H. Wackerbarth:**

Vor-Ort-Analytik von 1-H-Benzotriazol auf Basis der oberflächenver-
stärkten Raman-Spektroskopie, ANAKON 2019, Münster, Deutschland
(03.2019)

B. Vinçon, C. Geisler, A. Egner:

Ultrafast Switchable Depletion Patterns for tomoSTED Microscopy
Generated by Conical Diffraction, Focus on Microscopy 2019, London,
Großbritannien (04.2019)

**S. Lange, T. Mey, B. Schäfer, B. Keitel, M. Kuhlmann, M. Ruiz-Lopez,
T. Burian, T. Wodzinski, E. Plönjes, K. Mann:**

FEL beam characterization from measurements of the Wigner distribution
function SFB755 „Nanoscale Photonic Imaging“, Abschluss Symposium,
Venice International University, Venedig, Italien, (03.2019)

**S. Hädrich, P. Simon, T. Nagy, A. Blumenstein, N. Walther, M. Kienel,
E. Shestaev, F. Stutzki, C. Gaida, S. Breitkopf, P. Jójárt, Z. Várallyay,
K. Osvay, T. Eidam, J. Limpert:**

3.2-mJ sub-10-fs pulses at 100 kHz,
Advanced Solid State Laser Conference 2019, Vienna, Austria,
(postdeadline talk, ATu6A.2) (3.2019)

**A. Blumenstein, D.S. Ivanov, E.S. Zijlstra, M.E. Garcia, B. Rethfeld,
J. Ihlemann, P. Simon:**

Gold Surface Nanostructuring with Ultrashort Laser Pulses – Study of
Non-equilibrium Effects, FemtoMat 2019, Mauterndorf Castle,
Mauterndorf, Salzburg, Austria (3.2019)

C. Liberatore, M. Müller, J. Holburg, K. Mann et al.:

The State of Art of the EUV Plasma Source at HiLASE
SPIE Optics + Optoelectronics, Prag, Tschechien (04.2019)

K. Mann:

Applications of a table-top laser-induced soft X-ray plasma source
SPIE Optics + Optoelectronics, Prag, Tschechien (04.2019)

Konferenzbeiträge

Conference contributions

T. Burian, T. Mey et al.:

Determining the transmission of thin foil filters for soft X-ray free electron laser radiation: an ablation imprint approach
SPIE Optics + Optoelectronics, Prag, Tschechien (04.2019)

T. Burian, T. Mey et al.:

Determining the transmission of thin foil filters for soft X-ray free electron laser radiation: an ablation imprint approach
SPIE Optics + Optoelectronics, Prag, Tschechien (04.2019)

C. Niklas, G. Ctistis, F. Müller, H. Wackerbarth:

Ramanspektroskopie mit photonischen Hohlkernfasern am Beispiel atmosphärischer Gase, Sensoren und Messsysteme 2019, Nürnberg, Deutschland (06.2019)

S. Hädrich, P. Simon, T. Nagy, A. Blumenstein, R. Klas, J. Buldt, L.-H. Stark, S. Breitkopf, P. Jójárt, Z. Várallyay, K. Osvay, T. Eidam, J. Limpert:

Spectral Broadening of a 500W, 5mJ Femtosecond Laser,
Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC) 2019, DOI: 10.1109/CLEO-EQEC.2019.8873189, (06.2019)

H. Wackerbarth:

Raman-basierte Techniken im Bereich Patientensicherheit und medizinischer Diagnostik, 12. Workshop Kleine Volumenströme in der Medizintechnik, Lübeck, (06. 2019)

T. Takaya, G. Miyaji, L.J. Richter, J. Ihlemann:

Nanostructure formation on Silicon suboxide with plasmonic nearfield ablation induced by femtosecond laser pulses
CLEO Europe München (06.2019)

L. J. Richter, C. Beckmann, J. Meinertz, J. Ihlemann:

Fabrication of Multilevel Fused Silica Diffractive Phase Elements by Laser Processing of Silicon Suboxide, 120. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für angewandte Optik (DGaO), Darmstadt (06.2019)

N. G. Khodakovskiy, M. P. Kalashnikov, B. Mercier, V. Pajer, Z. Cheng, M. Lozano, A. Blumenstein, P. Simon, T. Nagy, R. Lopez-Martens:

High-fidelity few-cycle laser pulses generated via nonlinear ellipse rotation, Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC 2019, Munich, DOI: 10.1109/CLEO-EQEC.2019.8873203, (poster, CF-P40 SUN) (6.2019)

Konferenzbeiträge

Conference contributions

M. Meyer, K. Mann, S. Lange, B. Schäfer et al.:

The Small Quantum System (SQS) instrument at European XFEL: results of commissioning and first experiments International Conference on Photonic, Electronic, and Atomic Collisions, Deauville Frankreich (07.2019)

J. Ihlemann, A. Blumenstein, F. Kleinwort, J. Oltmanns, D. S. Ivanov, P. N. Terekhin, B. Rethfeld, M. E. Garcia, P. Simon:

Generation of deterministic nanostructures with ultrashort UV pulses under predefined interface boundary conditions, International Symposium: Fundamentals of Laser Assisted Micro-& Nanotechnologies, FLAMN 2019, Saint-Petersburg, Russia (07.2019)

S. Hädrich, P. Simon, T. Nagy, A. Blumenstein, R. Klas, J. Buldt, L.-H. Stark, S. Breitkopf, P. Jójárt, Z. Várallyay, K. Osvay, T. Eidam, J. Limpert:

Spectral Broadening of a 500W, 5mJ Femtosecond Laser, 7th International Conference on Attosecond Science and Technology, Atto 2019, Szeged, Hungary (07.2019)

N. Wang, C. Gobert, P. Peretzki, T. Fricke-Begemann, J. Ihlemann, M. Seibt:

Micro-structural investigation of substrate-bound silicon rich silicon oxide layers annealed by CW laser, Chinese Materials Conference 2019 Sichuan, China (07.2019)

J. Ihlemann, J. Meinertz, M. Heinz, M. Dubiel:

Laser implantation of plasmonic nanoparticles into glass 10th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META 2019), Lisbon, Portugal (07.2019)

A. Egner:

Quantitative Microscopy, Cluster of Excellence (EXC 171) & DFG Research Center (FZT 103) - CNMPB Final Symposium, Göttingen (08.2019)

M. Buczek:

Fabrication of structured glass components by laser ablation of silicon suboxide and further oxidation, 8th International Summer School "Trends and new developments in Laser Technology 2019" Dresden (08.2019)

J. Meinertz, J. Ihlemann:

Effiziente diffraktive Markierung von Glasoberflächen mittels ArF-Excimerlaser, 120. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für angewandte Optik (DGaO), Darmstadt (06.2019)

Konferenzbeiträge

Conference contributions

N. Wang, C. Gobert, P. Peretzki, T. Fricke-Begemann, J. Ihlemann, M. Seibt:

Nanosopic phase separation in laser annealed silicon-rich silicon oxide studied by transmission electron microscopy and optical spectroscopy
Gettering and Defect Engineering in Semiconductor Technology (GADEST) 2019, Zeuthen (09.2019)

M. Dinse, C. Lenth:

Brandfrühwarn- und Schutzsystem für das Überwachen von Lithiumakkumulatoren, NesSi-Netzwerktreffen, Fagus-GreCon Greten GmbH & Co. KG, Alfeld (9.2019)

S. Breilkopf, S. Hädrich, M. Kienel, P. Jójárt, Z. Várallyay, K. Osvay, P. Simon, T. Nagy, A. Blumenstein, R. Klas, J. Buldt, L.-H. Stark, E. Shestaev, T. Eidam, J. Limpert:

Yb-doped fiber laser system with 1kW, 10mJ and <300fs pulse for the generation of TW class few-cycle pulses, Ultrafast Optics XII 2019, Bol, Croatia, (regular talk, TU8.4) (10.2019)

K. Mann:

Wavefront metrology and propagation characteristics of extreme UV and soft X-ray sources 313. PTB Seminar "VUV and EUV Metrology", Berlin (10.2019)

C. Geisler:

Optical Nanoscopy: Imaging beyond the diffraction limit, CINSat Autumn Colloquium 2019, Universität Kassel, Kassel (10.2019)

M. Ruiz-Lopez, B. Keitel, T. Mey, K. Mann, E. Plönjes, B. Schäfer,

F. Siewert: Analysis of FLASH beamlines caustic supported by wavefront simulations 313. PTB-Seminar "VUV and EUV Metrology", Berlin (10.2019)

M. Ruiz-Lopez, B. Keitel, T. Mey, K. Mann, E. Plönjes, B. Schäfer,

F. Siewert: Analysis of FLASH beamlines caustic supported by wavefront simulations 313. PTB-Seminar "VUV and EUV Metrology", Berlin (10.2019)

C. Geisler, R. Kowarsch, P. Jain, C. Rembe, A. Egner:

Hochauflösende Reflexionsmikroskopie mittels Absorptionsmodulation, Photonic Net - Forum MikroskopieTrends '19, Göttingen (12.2019)

G. Ctistis:

Photons in a cage, Großes Physikalisches Colloquium, Universität Göttingen (12.2019)

Abschlussarbeiten

Final Thesis

Vera Schalles:

Raman-Marker auf Basis der oberflächenverstärkten Resonanz-Raman-Spektroskopie zur immunreaktionsbasierten Analytik
Bachelorarbeit, Georg-August-Universität Göttingen (01.2019)

Fabian Müller:

Detektion von Kohlenstoffmonoxid mittels nichtdispersiver Infrarotspektroskopie
Bachelorarbeit, HAWK - Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Fakultät Naturwissenschaften und Technik, Göttingen (05.2019)

Florian Wieduwilt:

Arzneimitteldetektion in Abwässern durch oberflächenverstärkte Raman-Spektroskopie am Beispiel der Leitsubstanzen Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol
Masterarbeit, Georg-August-Universität Göttingen (01.2019)

Jonathan Holburg:

Brilliance improvement of laser-produced extreme ultraviolet and soft X-ray plasmas based on pulsed gas jets
Masterarbeit, HAWK - Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Fakultät Naturwissenschaften und Technik, Göttingen (02.2019)

René Siegmund:

isoSTED microscopy in living cells
Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen (02.2019)

Martin Stubenvoll:

Messung und Kompensation thermisch induzierter Wellenfrontdeformationen in optischen Elementen
Dissertation, Universität Stuttgart (07.2019)

Andreas Blumenstein:

Gold Surface Nanostructuring with Ultrashort Laser Pulses - Study of Non-equilibrium Effects
Dissertation, Universität Kassel (03.2019)

Ausgewählte Kooperationspartner

Selected Cooperation Partners

International



National



Lokal



WISSENSCHAFT FORTSCHRITT



ZUSE-GEMEINSCHAFT
FORSCHUNG, DIE ANKOMMT.

ZUSE-GEMEINSCHAFT – FORSCHUNG, DIE ANKOMMT! JAHRESRÜCKBLICK 2019

Die Menschen in Deutschland befürworten einen hohen Stellenwert für die angewandte Forschung. Das ergab Ende 2019 eine bevölkerungsrepräsentative Umfrage im Auftrag der Zuse-Gemeinschaft. Damit solch angewandte Forschung in der bundespolitischen Arena mehr Gewicht bekommt, plädiert die 2015 gegründete Zuse-Gemeinschaft für mehr Fairness in der Forschungsförderung. Denn immer noch hat die anwendungsorientierte Forschung mit politisch bedingten Nachteilen zu kämpfen.

Unser Institut ist eines von aktuell rund 75 Mitgliedern der Zuse-Gemeinschaft, in der sich die Forschungsinstitute branchenübergreifend vereint haben, um ihre Anliegen zur Geltung zu bringen. Der Zusammenschluss ist technologieoffen. Diese Offenheit übt Anziehungskraft aus, wie das Jahr 2019 mit drei neuen Mitgliedern aus unterschiedlichen Disziplinen zeigt. Zuwachs hat die Zuse-Gemeinschaft durch das Robert Boyle Institut aus Thüringen sowie aus Nordrhein-Westfalen durch das Oel-Waerme-Institut und die Gesellschaft für Angewandte Mikro- und Optoelektronik GmbH (AMO) bekommen.

Neuer Präsident der Zuse-Gemeinschaft ist seit 29. Oktober 2019 Prof. Dr. Martin Bastian, Institutsleiter am Kunststoff-Zentrum in Würzburg. Einstimmig wurde er zum Nachfolger von Dr. Ralf-Uwe Bauer gewählt. Neben verbesserter politischer Rahmenbedingungen hat sich Prof. Bastian als Ziele für den Verbund u.a. eine Stärkung der Zusammenarbeit zwischen den Mitgliedern und einen weiteren Zuwachs an Mitgliedern auf die Fahnen geschrieben. Zentrale politische Forderung der Zuse-Gemeinschaft bleibt die Schaffung eines eigenen Haushaltstitels für die privatwirtschaftlich organisierten, gemeinnützigen Institute im Bundeshaushalt.

Die Zuse-Gemeinschaft mit ihrer Geschäftsstelle in Berlin setzt auf einen Mix aus politischer und öffentlicher Kommunikation. Im Jahr 2019 standen Veranstaltungen und Treffen zu forschungspolitischen Themen ebenso auf dem Programm wie die Intensivierung der Pressearbeit. Der neu aufgelegte Newsletter ZUSE TRANSFERNEWS informiert über Highlights aus der Forschungspraxis der Institute ebenso wie über Neuigkeiten aus Politik und Wirtschaft.

Die Anmeldung zu den ZUSE TRANSFERNEWS ist über folgende Webseite möglich: www.zuse-gemeinschaft.de/newsletter/anmeldung

Weitere Informationen finden Sie unter:
www.zuse-gemeinschaft.de · twitter.com/Zuse_Forschung



Der neue Präsident der Zuse-Gemeinschaft, Prof. Dr. Martin Bastian (Bildquelle: SKZ)



Werkstattgespräch Forschen im vereinten Deutschland in Berlin, v.l.: Prof. Martin Bastian, Dr. Annette Treffkorn, Dr. Christian Rammer, Dr. Heike Illing-Günther, Gernot Hutschenreiter, Dr. Adrian Mahlkow (Bildquelle: Zuse-Gemeinschaft)



Dr. Michael Hornung, Dr. Friedrich-Wilhelm Bolle und Prof. Dr. Christian Lemme bei der Übergabe der Mitgliedsurkunde der Zuse-Gemeinschaft bei AMO (Bildquelle: AMO GmbH)

Messen und Veranstaltungen

Exhibitions and Events



4. Nacht des Wissens 2019

„Photonen bei der Arbeit“ beobachten die 2500 Gäste, die während der vierten „Nacht des Wissens“ das Laser-Laboratorium Göttingen besuchen. Im Zehn-Minuten-Takt gibt es bei der Großveranstaltung, mit der sich der Wissenschaftsstandort am Samstag, 26. Januar 2019, der Öffentlichkeit präsentiert, Führungen durch das Forschungsinstitut. Forschende des LLG stellen in ihren Laboren aktuelle Vorhaben vor.

Sie zeigen, wie sich mit optischen Methoden die Patientensicherheit auf Intensivstationen verbessern lässt, Vorgänge in lebenden Zellen beobachtet werden können oder schillernde Markierungen hergestellt werden, die gegen Produktpiraterie schützen. Im Laser-Tunnel „Mission Possible“ testen Besucherinnen und Besucher ihre Geschicklichkeit. Wie die Actionhelden in einem Marvel-Film durchqueren sie ein leuchtendes, futuristisch anmutendes Labyrinth aus Laserstrahlen. Die Stoppuhr läuft. Wird einer der Strahlen berührt, schrillt die Alarmglocke.



Justage eines Michelson-Interferometers
Adjustment of a Michelson interferometer

Messen und Veranstaltungen

Exhibitions and Events

4. Nacht des Wissens 2019

“Photons at work” watch the 2,500 guests who visit the laser laboratory in Göttingen during the fourth “Night of Knowledge”. Guided tours of the research institute take place every ten minutes. At a major event at which the science location presents itself to the public on Saturday, January 26, 2019. LLG researchers present current projects in their laboratories.

They show how optical methods can be used to improve patient safety in intensive care units, how processes can be observed in living cells, or how dazzling markings can be made to protect against product piracy. Visitors test their skills in the “Mission Possible” laser tunnel. Like the action heroes in a Marvel film, they cross a luminous, futuristic-looking labyrinth of laser beams. The stopwatch is running. If one of the beams is touched, the alarm bell will ring.



Mitarbeiter des LLG erklären das Michelson Interferometer
LLG staff explain the Michelson interferometer

Messen und Veranstaltungen

Exhibitions and Events



IdeenExpo 2019

Faszinierende Einblick in die Welt des Laserlichts gewährt das Laser-Laboratorium Göttingen von 15. bis 23. Juni während IdeenExpo. Bei der Mitmachveranstaltung für junge Menschen auf dem Messegelände Hannover weckt das Forschungsinstitut an drei Stationen Begeisterung für Naturwissenschaften und Technik.

Einen grünen Laserstrahl, der mit Nebel eindrucksvoll in Szene gesetzt wird, gilt es mit Hilfe von Stellschrauben zweier Spiegel durch zwei Lochblenden – die Zielscheiben – zu führen. Dann trifft der Strahl in ein Michelson-Interferometers, wodurch eindrucksvolle Interferenzringe erscheinen.

Mit einem mechanischen Strahlblock blockieren die Besucherinnen und Besucher einen Teilstrahl des Interferometers. So lässt sich Prinzip der Interferenz verstehen. Per Knopfdruck bringen sie einen Heizdraht zum Glühen. Die aufsteigende Hitze ist im Interferenzmuster zu erkennen.

Umlagert ist der Lasertunnel Mission Possible, dessen 15 Lichtschranken es bereits bei der Nacht des Wissens zu überwinden galt.



▲
Besucher auf der IdeenExpo am Stand des Laser-Laboratoriums Göttingen.
Visitors at the stand of the Laser Laboratorium Göttingen.

Messen und Veranstaltungen

Exhibitions and Events

IdeenExpo 2019

The Laser Laboratory in Göttingen provides fascinating insights into the world of laser light from June 15th to 23rd during at the IdeenExpo. At the interactive event for young people at the Hanover exhibition center, the research institute awakens enthusiasm for science and technology at three stations.

A green laser beam, which is impressively staged with fog, has to be guided through two perforated screens - the targets - with the help of adjusting screws of two mirrors. Then the beam hits a Michelson interferometer, which creates impressive interference rings.

The visitors block a partial beam of the interferometer with a mechanical beam block. This is how the principle of interference can be understood. They make a heating wire glow at the push of a button. The rising heat can be seen in the interference pattern.

The Laser Tunnel Mission Possible is encircled, and its 15 light barriers had to be overcome at night of Knowledge.



Ein junger Besucher probiert sich durch den Pakour im Lasertunnel.

A young visitor at the Laser tunnel.

Messen und Veranstaltungen

Exhibitions and Events



World of Photonics

Wie sich Holografien auf Glas herstellen, das Ausbreitungsverhalten von Laserstrahlung vorhersagen und mikroskopische Aufnahmen mit einer Auflösung von nur wenigen zehn Nanometern machen lassen: Das und mehr zeigt das Laser-Laboratorium Göttingen während der World of Photonics. Die Weltleitmesse der Branche findet vom 24. bis 27. Juni 2019 in München statt.

Das LLG hat ein spezielles Verfahren entwickelt, um mit einem Kurzpuls-UV-Laser auf Glasoberflächen lichtbeugende Strukturen herzustellen. Solche Muster, die Licht in die Farben des Regenbogens zerlegen, lassen sich als Sicherheitsmerkmale für Werkstücke, zur Speicherung von Informationen (etwa QR-Codes), aber auch zu dekorativen Zwecken Verwendung nutzen. Das LLG zeigt eine gestreckte, flexible Hohlleiter zur Kompression ultrakurzer Laserpulse. Aufgrund der freien Längskalierung erreicht sie große Kompressionsfaktoren. Zudem ermöglicht ein spezielles Kühl- und Schutzkonzept den Betrieb auch bei extrem hohen Spitzenleistungen.



Der Messe-Stand des Laser-Laboratorium Göttingen.

The exhibition stand of the Laser Labororium Göttingen.

Weiche Röntgen- und Extrem Ultraviolette (EUV) Strahlung erzeugt eine vom LLG entwickelte Laborplasmaquelle. Sie lässt sich etwa für die Reflektometrie zur Optikcharakterisierung oder für die Absorptionsspektroskopie zur chemischen Analytik einsetzen. In der Mikroskopie ermöglicht sie Auflösungen im Nanometerbereich. Die Fokussierung der Strahlung mit geeigneten Optiken gestattet zudem Stabilitäts- und Zerstörungsschwellmessungen an EUV-optischen Materialien und Sensoren bei der zukünftigen Halbleiterlithographie-Wellenlänge von 13,5 Nanometer. Mit einem Hartmann-Shack-Wellenfrontsensor des LLG kann das Ausbreitungsverhalten von Laserstrahlung vorher gesagt und eine M^2 -Bestimmung in Echtzeit vorgenommen werden.

Die Göttinger zeigen in München zudem, wie mittels des STED-Prinzips mikroskop Aufnahmen mit einer Auflösung von nur wenigen zehn Nanometern erstellen lassen. Die Detailschärfe der Bilder ist bis zu zehnmal höher als bei der Fluoreszenzmikroskopie. Das ermöglicht es, molekulare Prozesse in lebenden Zellen live zu verfolgen.

Messen und Veranstaltungen

Exhibitions and Events

World of Photonics

How to make holography on glass, predict the propagation behavior of laser radiation and take microscopic pictures with a resolution of just a few tens of nanometers: The Laser Laboratory in Göttingen will be showing this and more during the World of Photonics. The world's leading trade fair for the industry will take place in Munich from June 24 to 27, 2019.

The LLG has developed a special process to produce light diffractive structures on glass surfaces with a short pulse UV laser. Such patterns, which break light into the colors of the rainbow, can be used as security features for workpieces, for storing information (such as QR codes) and also for decorative purposes.

The LLG shows a stretched, flexible hollow fiber for the compression of ultra-short laser pulses. Due to the free length scaling, it achieves large compression factors. In addition, a special cooling and protection concept enables operation even at extremely high peak performance.



Teilnehmer und Betreuer am Stand des Laser-Laboratoriums Göttingen.

Visitors and staff members at the stand of the Laser Laboratorium Göttingen.

Soft X-ray and extreme ultraviolet (EUV) radiation is generated by a laboratory plasma source developed by the LLG. It can be used, for example, for reflectometry for optical characterization or for absorption spectroscopy for chemical analysis. In microscopy, it enables resolutions in the nanometer range. The focusing of the radiation with suitable optics also allows stability and destruction threshold measurements on EUV-optical materials and sensors at the future semiconductor lithography wavelength of 13.5 nanometers.

With a Hartmann Shack wavefront sensor from the LLG, the propagation behavior of laser radiation can be predicted and an M^2 determination can be carried out in real time.

The company from Göttingen also shows how microscopic images with a resolution of just a few tens of nanometers can be created using the STED principle. The sharpness of detail of the images is up to ten times higher than that with fluorescence microscopy. This makes it possible to follow molecular processes live in living cells.

Messen und Veranstaltungen

Exhibitions and Events

XLAB International Science Camp zu Besuch am LLG

9 Teilnehmerinnen und Teilnehmer des XLAB International Science Camp besuchten am 14. August 2019 das LLG. Begrüßt wurde die Gruppe mit Teilnehmern aus fünf verschiedenen Ländern von Dr. Matthias Müller, der in einem Vortrag zunächst das Institut vorstellte und einen Überblick über die weitreichenden Anwendungsmöglichkeiten der Photonik präsentierte. Danach haben die Schülerinnen und Schüler im Alter von 16-18 Jahren im Rahmen einer ausführlichen Führung durch das Institut spannende Eindrücke komplexer Messaufbauten und praktischer Laseranwendungen gewonnen. So wurde u.a. anschaulich erklärt, wie hochauflösende Fluoreszenzmikroskopie (STED) funktioniert, welche Bedeutung extrem ultraviolette Strahlung für die zukünftige Fertigung von Smartphones, Tablets und Computern hat, wie Mikroplastik im Meer effizient und zuverlässig detektiert werden kann und wie durch Laserbearbeitung von Oberflächen eine fälschungssichere Kennzeichnung von Originalteilen gelingt.



▲
Unser Gäste bei den Vorbereitungen für die hochauflösende Fluoreszenzmikroskopie.
Our guests at the preparations for high-resolution fluorescence microscopy.

Messen und Veranstaltungen

Exhibitions and Events

XLAB International Science Camp visiting the LLG

9 participants of the XLAB International Science Camp visited the LLG on August 14, 2019. The group was greeted with participants from five different countries by Dr. Matthias Müller, who first introduced the institute in a lecture and presented an overview of the wide-ranging application possibilities of photonics. Afterwards, the schoolchildren aged between 16 and 18 gained fascinating impressions of complex measurement setups and practical laser applications as part of a detailed tour of the institute. Among other things, vividly explains how high-resolution fluorescence microscopy (STED) works, the importance of extremely ultraviolet radiation for the future production of smartphones, tablets and computers, how microplastics in the sea can be detected efficiently and reliably and how laser processing of surfaces enables counterfeit-proof labeling of original parts .



▲
XLAB Besucher im Laser-Laboratorium Göttingen.
XLAB visitors at the Laser Laboratorium Göttingen.

Neuigkeiten

News

Wissenschaftsminister Thümler besucht Laser-Laboratorium Göttingen

Auf Einladung von Institutsdirektor Prof. Dr. Alexander Egner besuchte Björn Thümler, Minister für Wissenschaft und Kultur des Landes Niedersachsen, am 20. August 2019 das Laser-Laboratorium Göttingen. Im Fokus standen die Bedeutung der optischen Technologien für Niedersachsen sowie die zukünftige Entwicklung des Instituts.

Die Photonik ist Wirtschaftsmotor und Schlüsseltechnologie für viele innovative Produkte der heutigen Zeit. Das Laser-Laboratorium Göttingen (LLG) betreibt anwendungsorientierte Grundlagenforschung auf dem Gebiet der optischen Technologien sowie Technologietransfer von der Wissenschaft in die Wirtschaft. Bei seiner Gründung im Jahr 1987, war das LLG eines der ersten Institute für angewandte Las erforschung. Über die Jahre hat es sich wesentlich weiterentwickelt und auf höchstem Niveau Fragestellungen beantwortet, die mit dazu beigetragen haben, dass die Lasertechnologie in die Herstellung vieler Produkte unseres Lebensalltags eingezogen ist. Die heutigen Aktivitäten reichen von der Entwicklung berührungslos arbeitender Lasermesstechnik, der Herstellung neuer Produkte und der Produktveredelung unter Verwendung von Lasern bis zur Entwicklung von mikroskopischen und spektroskopischen Verfahren für die Bereiche Medizin und Lebenswissenschaften. Mit immer kleineren Strukturen von z.B. wenigen zehn Nanometern und immer kürzeren Bestrahlungszeiten von unter einer Picosekunde können völlig neue Anwendungen erreicht werden. Aktuell befasst sich das Institut z.B. mit Fragestellung zur Verbesserung von in Wettersatelliten eingesetzten Optiken, zur fälschungssicheren Markierung von Glasscheiben, zur Erkennung von brandgefährdeten Lithiumakkus und zu smarten High-End Mikroskopen.



Dr. Claudia Geisler im Gespräch mit Herrn Björn Thümler.
Dr. Claudia Geisler in conversation with Mr. Björn Thümler.

Neuigkeiten

News

Science Minister Thümler Visits Laser Laboratorium Göttingen

At the invitation of the institute's director Professor Alexander Egner, Björn Thümler – Minister of Science and Culture in the state of Lower Saxony – visited Laser Laboratorium Göttingen on August 20, 2019. The focus of the visit was on the importance of optical technologies for Lower Saxony as well as the future development of the institute.

Photonics is an economic driver and a key technology for many of the innovative products of our time. Laser Laboratorium Göttingen (LLG) conducts application-oriented fundamental research in the field of optical technologies as well as the transfer of technologies from the scientific community to the business sector. At the time of its foundation in 1987, the LLG was one of the first institutes of applied laser research. It has undergone significant development over the years and answered questions at the highest level that have contributed to laser technologies making their way into the manufacture of many products used in our everyday lives. The institute's current activities range from the development of contactless laser measuring technology, the manufacture of new products, and using lasers to refine products to the development of microscopic and spectroscopic processes for the fields of medicine and life sciences. We can open up entirely new areas of application using increasingly tiny structures, for example of tens of nanometers, and shorter and shorter exposure times of less than a picosecond. For instance, the institute is currently dealing with questions relating to the improvement of the lenses used in weather satellites, special markings on glass to prevent piracy, the detection of lithium batteries in danger due to fire, and smart high-end microscopes.



Von links:

Dr. Huster, Prof. Troe, Prof. Hell, apl.
Prof. Egner und Herr Thümler.

From left:

Dr. Huster, Prof. Troe, Prof. Hell, apl.
Prof. Egner und Herr Thümler.

Neuigkeiten

News

Björn Thümmler, Niedersächsischer Minister für Wissenschaft und Kultur, verschaffte sich bei seinem Besuch einen Überblick über die Bedeutung der optischen Technologien für Niedersachsen sowie aktuelle Forschungsfragen des Instituts. „Mit dem LLG hat das Land Niedersachsen am Standort Göttingen ein hervorragendes Institut, das als Photonik-Experte über eine große nationale und internationale Ausstrahlung verfügt“, betonte Thümmler. Heute habe er sich persönlich davon vergewissern können, „welche zukunftsweisende Forschung hier in einer so bedeutenden Querschnittstechnologie betrieben wird. Sie hilft uns, aktuelle und zukünftige Herausforderungen in für die Gesellschaft wichtigen Bereichen wie Sicherheit, Mobilität, Energie und Umwelt sowie Leben und Gesundheit zu meistern“.

Neben seinen Forschungsleistungen erfüllt das LLG mit seinem Technologiezentrum auch einen wichtigen Beitrag zur wirtschaftlichen Entwicklung in der Region. Laut Institutsleiter Prof. Dr. Alexander Egner geschieht dies „nicht nur durch Bereitstellung geeigneter Räumlichkeiten, sondern auch durch eine aktive Ausgründungspolitik und die Auslizenzierung von Forschungsergebnissen“. Minister Thümmler betont, dass das Institut hierdurch „eine wichtige regionale Transferfunktion“ erfüllt. „Es bewege sich national und international auf Spitzenniveau, was auch die enge Kooperation mit Nobelpreisträger Prof. Dr. Stefan Hell deutlich macht“. Prof. Dr. Stefan W. Hell, Direktor am Max-Planck Institut für biophysikalische Chemie und Mitglied des Vorstands des LLG betonte die Bedeutung des Laser-Laboratoriums für den Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Göttingen: „Ergebnisse aus der Grundlagenforschung, die potentiell Marktrelevanz haben, benötigen in der Regel eine Weiterentwicklung bis zur Marktreife. Diese Aufgabe kann weder von einem Max-Planck Institut noch von einer Firma vollumfänglich geleistet werden. Diese Mittlerfunktion erfüllt in hervorragender Weise das LLG“.

Gegenüber außeruniversitären Forschungsinstituten in gemeinsamer Bund-Länder-Finanzierung sind die allein länderseitig finanzierten Institute oftmals im wettbewerblichen Nachteil. So findet beispielsweise der Pakt für Forschung und Innovation bei ihnen keine Anwendung. „Die Erfolge der vergangenen Jahre wären ohne effektive Strukturen wie geringe Overheads und schnelle Entscheidungswege nicht möglich gewesen. Für die Weiterentwicklung des Instituts hin zu einem Experten für Nanophotonik werden jedoch dringend zusätzliche Mittel für die Vorlauforschung benötigt, um eine entsprechende Spitzenforschung in Niedersachsen weiterhin gewährleisten zu können“, hebt Egner hervor. Minister Thümmler freut sich daher, „dass es gelungen ist - vorbehaltlich der Zustimmung des Landeshaushaltsgesetzgebers - die Grundfinanzierung des Instituts ab 2020 um jährlich rd. 10% (+175.000 Euro) zu erhöhen. Dies ist ein erster wichtiger Schritt, um die Zukunft des Instituts langfristig zu sichern“.

Neuigkeiten

News

During his visit, Björn Thümler – Lower Saxony’s Minister of Science and Culture – gained some insights into the importance of optical technologies for Lower Saxony as well as the current research of the institute. “With the LLG, the state of Lower Saxony has an outstanding institute in Göttingen that has major national and international influence as an expert in photonics,” Thümler emphasized. Today, he was able to witness for himself “the pioneering research being conducted here in such an important cross-sectional technology. It helps us master the current and future challenges in fields that are crucial to society, such as security and safety, mobility, energy, and the environment, as well as life and health.”

In addition to its research functions, the LLG also makes a significant contribution to the economic development of the region with its technology center. According to the institute’s director Professor Alexander Egner, this takes place “not only by providing suitable space, but also through an active spin-off policy and the licensing of research results.” Minister Thümler emphasizes that, in doing so, the institute fulfills an “important role in transfer between regions.” “It is a top player both nationally and internationally, which is also made clear by the close partnership with Nobel laureate Professor Stefan Hell.”

Professor Stefan Hell, director of the Max Planck Institute for Biophysical Chemistry and member of the Board of Directors of the LLG, emphasized the importance of the Laser-Laboratorium for Göttingen with regard to both science and economics: “Generally, results of fundamental research that can potentially impact the market require further development until they are ready to enter the market. This is a task that neither the Max Planck Institute nor a company can accomplish entirely – the LLG fills this intermediary role in excellent fashion.”

The institutes funded by states alone are often at a competitive disadvantage compared to nonuniversity research institutes jointly funded by the federal and state governments. The Pact for Research and Innovation therefore is not applicable to them, for instance. “The successes of recent years would not have been possible without effective structures such as low overheads and unbureaucratic decision-making processes. For the institute to develop into an expert in nanophotonics, however, additional funding is sorely needed for the preliminary research to be able to ensure the continued level of top research in Lower Saxony,” notes Egner. So Minister Thümler is pleased “that basic funding of the institute – pending approval by the state budget legislators – will be increased by around 10% annually (increase of 175,000 euros) beginning in 2020. This is the first important step towards ensuring the long-term future of the institute.”

Freitag, 16. August 2019

REGIONALE WIRTSCHAFT

Neues System soll vor explodierenden Lithiumakkus schützen

Laser-Laboratorium Göttingen und Stöbich technology starten gemeinsames Forschungsprojekt

Von Michael Caspar

Göttingen. Vor Explosion und Brand von Lithiumakkus soll ein System schützen, das das Laser-Laboratorium Göttingen (LLG) und die Goslarer Stöbich technology GmbH in den kommenden zwei Jahren entwickeln wollen.

„Mit dem Umstieg von fossiler Antriebstechnik auf Elektromobilität im Zuge der von Berlin angeordneten Energiewende kommen immer mehr Lithiumakkus im Straßenverkehr zum Einsatz“, berichtet Heiner Wackerbarth, der die LLG-Abteilung Photonische Sensortechnik leitet. Die neue Technik, die unter anderem auch in Smartphones Verwendung findet, birgt allerdings Gefahren, warnt der promovierende Chemiker.

So gibt es mittlerweile viele Berichte über Lithiumakkus, die unter mechanischer Belastung (etwa bei Unfällen), beim Laden oder auch spontan explodieren und Feuer fangen. Die Flammen breiten sich bei einer solchen Havarie sehr schnell aus. Die Gase, die in kurzer Zeit mit hohem Druck freigesetzt werden, sind zudem sehr giftig und wirken zersetzend. Entsprechend hoch ist der Bedarf an geeigneten Brandschutzlösungen, um Personen- und Sachschäden zu vermeiden. Es gibt sie allerdings bisher kaum.

Herkömmliche Sensoren helfen nicht

„Temperatur- und Rauchmelder aus dem baulichen Brandschutz helfen bei den sehr schnell ablaufenden Akkufällen wenig“, berichtet Marc Dinse, der bei Stöbich



Schottet Elektrofahrzeuge feuersicher ab: E-MobilityProtector von Stöbich technology. FOTO: R

technology als Innovationsmanager tätig ist. Druckmelder reagieren erst, wenn bereits Brandgase entstehen. Zudem funktionieren sie nur in geschlossenen Räumen. Als wenig geeignet erwiesen sich zu dem verschiedene Alternativmethoden wie das Messen der Ausdehnung oder der Erwärmung des Akkus. Stöbich technology hat sie

bereits gemeinsam mit dem Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut in Goslar getestet. Das innovative Schutzsystem, das LLG und Stöbich entwickeln wollen, soll auf einem speziellen Sensor basieren. Er weist frühzeitig jene flüchtigen, organischen Verbindungen nach, die vor der Havarie dem Akku entströmen. Dazu ist

zunächst einmal ein spezieller Marker zu identifizieren. „Wir wollen den frühestmöglichen Zeitpunkt bestimmen“, betont Wackerbarth. Experten gehen von einem Zeitraum von mindestens 10 Sekunden bis zu wenigen Minuten vor der Havarie aus. Während des Projekts bringen Mitarbeiter typische Lithiumakkus durch mechanische Be-

schädigung, Überladung oder Kurzschluss kontrolliert zur Explosion. Die Ausgasprodukte werden analysiert und zur Erstellung einer geeigneten Sensorik verwendet.

„Im Projekt geht es vor allem um Batteriesysteme von Elektrofahrzeugen und Heimspeichern, um die Überwachung von verunfallten Personkraftfahrzeugen während des Werkstattaufenthalts und von Gasbelästigungen während des Ladevorgangs gehen“, berichtet Wackerbarth. Die hierfür notwendige Sensorik wird direkt an das Batteriegehäuse angeschlossen, was eine direkte und schnelle Messung ermöglicht.

„Havarieeindämmung und Gefahrenabwehr“

„Im Verlauf unserer Entwicklungstätigkeit wollen wir die Sensortechnik mit der Steuerung moderner Schutzsysteme zur Havarieeindämmung und Gefahrenabwehr verbinden“, führt Innovationsmanager Dinse aus. Kommt es zu einer kritischen Situation, werden ein akustischer und ein optischer Alarm ausgelöst und Verantwortliche, etwa die Feuerwehr, benachrichtigt. Ladevorgänge lassen sich beenden.

Zusätzlich werden weitere Sicherheitsmaßnahmen, wie die Abschottung des Ladebereiches durch die Brandschutzsysteme der Stöbich technology GmbH eingesetzt. Das vom Bundesministerium für Wirtschaft geförderte Projekt ist im ZIM-Netzwerks „NESSI-Netzwerk für Sensorgestützte Sicherheitssysteme“ initiiert worden. Die Göttinger innos-Sperlich GmbH koordiniert das Netzwerk.

Abfüllen zu Vermeidung von Müll

Waschmittel könn im Waschbar-Lad nachgefüllt werden

Göttingen. Um Plastikmüll zu vermeiden, hat das Team Waschbar-Ladens in Göttingen eine Abfüllstation für Flüssig-, Wasch- und Spülmittel installiert. Das Regal mit Kanistern stehe im Kassereich.

Die Station bietet sieberrlogische Haushalts-Produkte zum Waschen, Spülen und Wischen. „Damit wollen wir einen Beitrag zur Reduzierung von Plastikmüll leisten“, so Si Morgenroth, Leiterin Waschbar-Ladens an der K Göttinger Straße. Die Station mit je einem Wasch- und Spülmittel mit natürlichen Düften, einem allergieergiebtem Wasch- und Spülmittel ne Duftstoffe, einem Waschl für Wolle und einem Seide für einen WC und einem WC riger“ bestückt. „Die W und Putzmittel werden n den Waschbar-Mitarbe und nur in Originalflaschen gefüllt“, betont Morgen Lebensmittelpfleger. Milch- oder Saftflaschen ten nicht mit Wasch- und Flüssigmitteln befüllt werden.

Pilotprojekt in Göttingen

Bei der Abfüllstation handelt sich um ein Pilotprojekt. „Die Abfüllstation in Göttingen angenommen wird, wir auch welche in Fre Waschbar-Läden in Fre und Karlsruhe aufstellen“ te Tobias Müller, Storen-ger aller Waschbar-Läden.

WIRTSCHAFTS TERMINE

Eine Informationsveranstaltung über Unterstützungsangebote beim Wiedereinstieg nach der Familienphase richtet die Agentur für Arbeit am Mittwoch, 21. August, von 9 bis 12.15 Uhr aus. Veranstaltungsort ist die Agentur für Arbeit Göttingen, Bahnhofstraße 5, Raum 353. Anmeldungen unter Telefon 0551/52 02 23 oder per Mail an goettingen.bca@arbeitsagentur.de.

Ein Seminar mit dem Titel „Corporate Design - der erste Eindruck zählt“ unter Leitung von Denise Kaiser bietet die Gründungsberatung „Mobil“ am Donnerstag, 22. August, in der Lotzestraße 22 c, in Göttingen, an. Beginn ist um 9 Uhr. Ende der Veranstaltung ist um 13 Uhr. Anmeldung und Infos unter Telefon 0551/4 00 32 30 oder online unter mobil-goettingen.de.

Der Regionale Arbeitskreis für Arbeitssicherheit Göttingen (RAK) lädt am Donnerstag, 22. August, von 14 bis 17 Uhr zu einem Vortrag zum Thema „Arbeitsschutz auf Baustellen“ in das Deutsche Primatenzentrum (DPZ), Horsaal Multifunktionsgebäude, Kellnerweg 4 in Göttingen, ein. Die Veranstaltung richtet sich an Baustellenmitarbeiter, Fachkräfte für Arbeitssicherheit, Sicherheitskoordinatoren sowie an Bauplaner und Bauherren. Weitere Informationen unter Telefon 0551/5 07 01 71.

Ein Gründersprechtag am Montag, 26. August, in der IHK, Bürgerstraße 21, ermöglicht den Teilnehmern Gespräche mit langjährigen erfahrenen Gründungsberatern über den Weg in die Selbstständigkeit. Termine sind möglich von 9 bis 17 Uhr, eine Abstimmung ist erforderlich unter Telefon 0551/7 07 10 13 oder per E-Mail unter goettingen@hannover-ihk.de.

Den nächsten Netzwerktag richtet die Industrie- und Handelskammer (IHK) Erfurt am Dienstag, 27. August, von 9 bis 12 Uhr im Regionalen Service-Center der IHK Erfurt, Nordhäuser Straße 2 in Heilbad Heiligenstadt, aus. Eine Terminvereinbarung unter Telefon 03606/612114 ist erforderlich.

IHK: Wahl zur Vollversammlung

Etwa 160 000 Mitgliedsunternehmen der IHK Hannover wählen ihr höchstes Gremium

Von Melina Debbeler

Göttingen. Aktuell wählen etwa 160 000 Mitgliedsunternehmen der Industrie- und Handelskammer (IHK) Hannover, mehr als 27 200 davon in den Landkreisen Göttingen und Northeim, ihr höchstes Gremium und bestimmen damit den Kurs der größten IHK in Niedersachsen für die nächsten vier Jahre. Zur Wahl für die 80 Sitze der Vollversammlung stellen sich 140 Kandidatinnen und Kandidaten aus der regionalen Wirtschaft.

„Wir freuen uns, dass wir so viele Unternehmerpersönlichkeiten aus unserer Region dafür gewinnen konnten, Verantwortung in der wirtschaftlichen Selbstverwaltung zu übernehmen und ihr Know-how in ein Ehrenamt einzubringen“, so IHK-Präsident Dr. Christian Hirsch. Die neu zu wählende IHK-Vollversammlung vertritt die gesamtwirtschaftlichen Interessen der regionalen Wirtschaft gegenüber Politik und Verwaltung, wählt den Präsidenten und legt auch die Höhe von Mitgliedsbeiträgen und Gebühren fest.

Frist bis zum 6. September

Wahlberechtigt ist grundsätzlich jedes IHK-Mitgliedsunternehmen. Dabei gilt das Prinzip: ein Unternehmen, eine Stimme – unabhängig von der Unternehmensgröße oder der Zahl der Mitarbeiter. Gewählt wird in neun Wahlgruppen, die die Branchenstruktur der Region widerspiegeln. In den Wahlgruppen Kredit- und Finanzierungsinstitute, Versicherungen, Verkehr und Telekommunikation, Gaststätten/Hotels/Tourismus, Vermittler sowie Energie/Ver- und Entsorgung stehen die Kandidatinnen und Kandidaten in der gesamtregionalen IHK-Region zur Wahl. In den drei großen Wahlgruppen Industrie, Handel und Dienstleistungen wählen die IHK-Mitglieder in regionalen Wahlbezirken, aufge-

teilt in die Landkreise Diepholz, Göttingen, Hameln-Pyrmont, Hildesheim, Holzminden, Nienburg, Schaumburg sowie die Region Hannover. Gewählt wird per Briefwahl, die Wahlunterlagen werden in dieser Woche an alle wahlberechtigten Unternehmen verschickt. Die Wahlfrist läuft bis zum 6. September – bis 12 Uhr müssen dann die Stimmzettel bei der IHK eingegangen sein. Aktuelle Informationen rund um die Wahl und eine Vorstellung aller 140 Kandidatinnen und Kandidaten im Kurzporträt bietet das IHK-Wahlportal online unter: www.hannover-ihk.de/wahl.

„Nicht zu unterschätzender Einfluss“

Martin Hoff, Geschäftsführer des Unternehmens Hoff Kalleosysteme (Osterode) und Vizepräsident der IHK Hannover, betont: „Ich kann nur alle Mitgliedsunternehmen der IHK Hannover aufrufen, ihre Chance auf Mitbestimmung aktiv zu nutzen. Der Aufwand ist gering – die Wirkung ist groß: Die Vollversammlung hat einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Entwicklung der Wirtschaft in unserer Region.“

Die Kandidaten aus dem Landkreis Göttingen sind für das produzierende Gewerbe (zwei Sitze) Stephan Ferneding (Geschäftsführer Accurion), Stephan Gais (Geschäftsführer Mahr), Michael Hann (Geschäftsführer Feinbäckerei Thiele), Dirk Moltan (Geschäftsführer Sanitätsbus u. r.), Isa-Johanna Jacob (Geschäftsführer Saturn Göttingen) und Birgit Witter-Wirsam (Geschäftsführerin Holzland Hesselbach) für den Bereich Dienstleistungen (zwei Sitze): Heidemarie Hillie (Geschäftsführerin Aeropelia), Johannes Loxen (Geschäftsführer SerNei) und Sylvia Wulf (Inhaberin Sylvia Wulf Marketingberatung).

Karibik intensiv zum Sonderpreis

Kreuzfahrt mit der HAMBURG vom 11. bis 21. November 2019

Mindestens p.P. sparen **1.080 €***



Das ist alles inklusive:

- » 9 Karibik-Inseln in 10 Tagen
- » Lange Liegezeiten in den Häfen
- » Traumhafte Route: Im Winter in die Sonne
- » Über Nacht auf Guadeloupe
- » Reise ab/bis Göttingen
- » Flüge ab/bis Hannover
- » Völligen an Bord inkl. Kapitänsdinner
- » Zusätzliche Reisebegleitung, Sekttempfang für unsere Leser u.v.m.

Sonderpreise pro Person:

2-Bettkabine, Glück	nur	€ 1.819,-
innen, untere Decks		
innen, obere Decks		€ 1.919,-
außen, untere Decks*		€ 2.019,-
außen, mittlere Decks		€ 2.129,-
außen, obere Decks		€ 2.429,-

Einzelkabinen ab € 2.129 nur auf Anfrage buchbar. *Sichtbehinderung möglich. Glück = Der Veranstalter wählt das Deck für Sie. *Preiserhöht gegenüber dem Veranstalter. Katalogpreis bei vergleichbarer An-/Abreise

Reiseveranstalter: PLANTOURIS Kreuzfahrten, eine Marke der planetours & Partner GmbH, Martinstraße 50-52, 28195 Bremen. Hinweis zur Barrierefreiheit: Unser Angebot ist für Reisende mit eingeschränkter Mobilität nur bedingt geeignet. Bitte kontaktieren Sie uns bezüglich Ihrer individuellen Bedürfnisse.

Informationen, Beratung und Buchungsanfrage: Tel. 0511-380 88-99
Besuchen Sie uns auch in unseren Geschäftsstellen Göttingen/Weender Str. 44, und Duderstadt/Marktstraße 9 oder auf www.goettinger-tageblatt.de/leserlesen. E-Mail: gt-leserlesen@hansatreisen.de. Unser exklusiver Leserreisen-Partner: Hansaair Reisen GmbH, Langenstraße 20, 28195 Bremen

Göttinger Tageblatt
Wilsfelders Tageblatt

Mittwoch, 21. August 2019 | Seite 15

REGION



Medien
Rezo teilt wieder aus:
Jetzt gegen die
Zeitungsbranche **Seite 19**

Schulstreiks für mehr Klimaschutz gehen weiter

Demo am Freitag
in Hann. Münden

Hann. Münden. Die Kampagne „Fridays for Future“ macht weiter gegen die Klimakrise mobil – auch in Hann. Münden. Am Freitag, 23. August, sind wieder in rund 20 deutschen Städten Schulstreiks und Demonstrationen geplant, wie „Fridays for Future“ im Internet mitteilt. In Niedersachsen und Bremen gibt es in fünf Orten Aktionen. Schülerinnen und Schüler wollen in Hann. Münden, Braunschweig, Bremerhaven und Hannover für mehr Klimaschutz auf die Straße gehen. Für den 20. September haben „Fridays for Future“ und zahlreiche andere Initiativen zu einem globalen Streik für mehr Klimaschutz aufgerufen. Alleine in der Bundesrepublik soll es dann mindestens 155 Kundgebungen geben. „Die Liste ist noch nicht vollständig“, betont „Fridays for Future“. „Es werden noch Hunderte Orte dazu kommen“. An dem weltweiten Klimaschutzstreik sollen sich nicht nur Schülerinnen und Schüler beteiligen, alle Bevölkerungsgruppen sind zum Mitmachen eingeladen. Am 20. September will auch das sogenannte Klimakabinet Pläne der Bundesregierung zum Klimaschutz präsentieren. *epf*

Verlosung: „Personal Jesus“ im Freibad erleben

Göttingen. Das Junge Theater präsentiert die erste Open-Air-Musikshow im Freibad Brauweg. Die vom Sound der 80er-Jahre inspirierte Musikshow „Personal Jesus“ wird am Freitag, 23. August, ab 20.15 Uhr unter freiem Himmel aufgeführt. Das Tageblatt verlost fünfmal zwei Tickets für die Show mit dem Ensemble des Jungen Theaters und der Liveband um Fred Kerkmann. Wer gewinnen möchte, kann am Mittwoch, 21. August, zwischen 8 und 20 Uhr unter Telefon 01 37/988 08 00 anrufen und deutlich seinen Namen, Anschrift und Telefonnummer sowie das Stichwort „Personal Jesus“ auf Band sprechen. (6,50 Euro pro Anruf aus dem deutschen Festnetz, Preise aus dem Mobilfunknetz können abweichen.) Der Rechtsweg ist ausgeschlossen. Die Namen der Gewinner werden im Tageblatt veröffentlicht. Karten für die Musikshow sind auch in den Geschäftsstellen des Göttinger Tageblattes, Wendler Straße 14, und des Eichelader Tageblattes, Marktstraße 9, Duderstadt, erhältlich. *uw*



Bei der Kunst-Gala hat das JT-Ensemble Ausschnitte aus der Musikshow „Personal Jesus“ präsentiert. *Foto: Heiler*

FC Landtag zu Gast in Bremke

Bremke. Eine Auswahl des TSV Bremke spielt am Freitag, 23. August, gegen den FC Landtag, einen Zusammenschluss von Abgeordneten der Landtagsfraktionen. Anstoß ist um 17.30 Uhr auf dem Sportplatz in Bremke. Der Eintritt beträgt zwei Euro. „Der Erlös wird einem guten Zweck zugunsten“, sagt Carsten Hoffmann. Der Fußballwart des TSV Bremke hatte die Idee zu dem Spiel und hat das Treffen in Bremke organisiert. „Auf den FC Landtag bin ich durch einen Bericht im Göttinger Tageblatt aufmerksam geworden“, erzählt Hoffmann. Danach habe er umgehend Kontakt mit dem SPD-Landtagsabgeordneten Stefan Klein aufgenommen, „der mir dann relativ zeitnah die Zusage für ein Spiel in Bremke gegeben hat“. Die Partie wird von einem Schiedsrichtergespann geleitet. Die Einnahmen sollen für einen guten Zweck gespendet werden. „Im Anschluss gibt es ein Schlemmen von der Schlachtereier Seibert aus Göttingen“, *afu* kündigt Hoffmann an.



Hinsche gewinnt Fotowettbewerb mit Makroaufnahme

Zum sechsten Mal hat der Nationalpark Harz zusammen mit der Jungfer Druckerei und Verlag GmbH aus Herzberg den Fotowettbewerb „Harz Natur 2019“ ausgeschrieben. Jetzt wurden die Gewinner im Schloss Herzberg ausgezeichnet, wo auch eine Fotostellung mit den besten Motiven zu sehen ist. Der Gesamtsieger ging an Thomas Hinsche aus Dessau-Roßlau für das Foto „Kraftsportler“. Er überzeigte die Jury mit der Makroaufnahme einer Ameise. Weiterhin wurden 14 Bilder des Wettbewerbs für den Nationalpark-Kalender 2020 ausgewählt. Dieser ist zum Preis von 14,95 Euro ab sofort in allen Verkaufsstellen des Nationalparks und in zahlreichen Buchhandlungen erhältlich. Bestellt werden kann der Kalender auch beim Nationalpark-Besucherzentrum Torfhaus unter post@torfhaus.info oder Telefon 053 20/3317 90. *uf/roto nassco*

Initiative „Wunschgroßeltern“: Oma und Opa gesucht

Kinderschutzbund Northheim vermittelt an Familien, die keine Großeltern haben

Von Filip Donth

Northheim. Die Initiative „Wunschgroßeltern“ des Kreisverbandes des Kinderschutzbundes Northheim vermittelt seit mehr als sechs Jahren Wunschomas und Wunschopas an Familien, die keine Großeltern haben. Aus ersten Begegnungen entwickelte sich gelegentlich echte Wahlverwandtschaft. Seit 2013 gelang es der Initiative, rund 15 Wunschgroßeltern an Familien zu vermitteln, wobei einige Wunschgroßeltern aufgrund der Gesundheit oder eines Umzuges wieder ausgeschieden seien, so Elke Witt vom Kinderschutzbund, die die Aktion ins Leben gerufen hat. „Momentan haben wir sechs aktive Wunschgroßeltern.“

Der Kontakt zwischen den Familien und den Wunschgroßeltern müsse zunächst einmal hergestellt werden, erläutert Witt. „Dann müssen sich beide Seiten unabhängig voneinander vorstellen, können diese Beziehung einzugehen, ere drei bis fünf Treffen ansetzen. Die Entscheidung wird mir dann mitgeteilt.“

Aktion bietet Vorteile für beide Seiten

Witt sieht bei der Initiative Vorteile für beide Seiten: „Für eine Familie bedeutet eine Wunschgroßmutter

oder ein Wunschgroßvater Entlastung. Die Wunschgroßeltern sind in jedem Fall weniger allein, viele sagen, die Kinder würden sie jung halten.“ Aktuell sucht Witt potenzielle Wunschgroßeltern für eine Familie im Raum Nörten-Handenberg. „Es haben sich auf einen Aufruf zehn Interessierte gemeldet“, berichtet Witt. „Christiane Mohrmann hat durch die Initiative bereits eine Wunschgroßmutter für ihre Tochter Johanna gefunden. Rentnerin Hiltrud Happel. Ich bin eigentlich über die Aktion gestolpert“, erinnert sich Mohrmann. Mit ihrer Tochter war sie vor mehr als fünf Jahren in der Nörheimer Innenstadt unterwegs und wurde auf ein Treffen der Wunschgroßeltern in der Alten Wache aufmerksam.

„Wir haben hier vor Ort keine Großmutter, doch ich finde die Präsenz einer Oma unheimlich wichtig, weil ich selbst eine ganz tolle hatte – so eine sollte Johanna auch haben“, berichtet die Mutter. Ich habe einen Artikel über die Aktion in der Zeitung gelesen, das hat mich angesprochen, also bin ich zu einem der Treffen gegangen“, erzählt Happel, die auch einen beliebigen Enkel hat. „Da ich selbst große Freude daran hatte, drei Söhne aufzuziehen, dachte ich, kann ich meine Erfahrung noch mal weitergeben, wenn ich ein Wunschkelchen hätte.“ Über den Kinderschutzbund und Elke Witt wurde schließlich der Kontakt hergestellt. „Anfangs haben wir und Hiltrud

uns dann mit Frau Witt getroffen. Wir haben gepunktet, wie Johanna eigentlich auf Hiltrud reagiert. Das lief alles von selbst, da mussten wir nicht nachjustieren“, erzählt Mohrmann. **Räumliche Nähe als wichtiger Faktor** Auch die räumliche Nähe war sofort gegeben: Familie Mohrmann und Wunschgroßmutter Happel wohnen nur zwei Straßen auseinander. Das sei ein großer Vorteil, betonen Mohrmann, Happel und Witt unisono. Mehrmals im Monat trifft die heute sechsjährige Johanna nun ihre Wunschgroßmutter, unter anderem zum Spielen oder um Ausflüge zu unternehmen. „Es hat sich auf jeden Fall gelohnt, sich bei der Aktion zu melden – wir haben eine Oma gewonnen. Hiltrud ist zu einem Familienmitglied geworden“, betont Mohrmann. „Im Notfall könnte ich nachts bei ihr anrufen.“ Happel bestätigt: „Es soll natürlich auch eine Entlastung der Eltern sein.“ Manchmal scheitern das Projekt, Familie und Wunschgroßmutter oder -vater finden einfach nicht zueinander, erklärt Initiatorin Witt. Und manchmal erwächst aus „Wunschgroßeltern“ echte Wahlverwandtschaft – so wie bei Familie Mohrmann und Hiltrud Happel.



Hiltrud ist zu einem Familienmitglied geworden.

Christine Mohrmann hat für ihre Tochter Johanna in Hiltrud Happel eine Wunschgroßmutter gefunden

So werden die Wunschgroßeltern vermittelt

Wer Wunschgroßmutter oder -vater werden möchte, kann sich telefonisch beim Kinderschutzbund in Northheim melden (055 51/98 89 15). Anschließend steht die Teilnahme an Vorbereitungsgruppen an, wo potenzielle Wunschgroßeltern von den Initiatoren in die

Initiative eingeführt werden. Pädagogische Mitarbeiter bereiten die potenziellen Wunschgroßeltern auf ihre neue Rolle vor. Der Kinderschutzbund vermittelt in Anschluss daran Familien, die zu den Interessierten passen könnten. Der Erstkontakt wird vom Kinderschutz-

bund begleitet, ehe nach mehreren Treffen eine Entscheidung ansteht, ob beide Seiten sich weiterhin Kontakt vorstellen können. Der Kinderschutzbund begleitet die Familie und den Wunschgroßeltern teil fortwährend, berät oder vermittelt im Problemfall.

Laser-Laboratorium bekommt mehr Geld vom Land

175 000 Euro mehr: Wissenschaftsminister Björn Thümler kündigt eine höhere Grundfinanzierung an

Von Michael Caspar

Göttingen. Das Laser-Laboratorium Göttingen soll vom kommenden Jahr an zehn Prozent mehr Grundförderung erhalten. Das hat Niedersachsens Minister für Wissenschaft und Kultur dem Institut am Dienstag mitgeteilt. „Auf Vorschlag meines Ministeriums sollen alle außeruniversitären Forschungseinrichtungen des Landes eine höhere Grundförderung erhalten“, sagte Björn Thümler (CDU) in Göttingen. Die Grundfinanzierung des Laser-Laboratoriums, dessen Betriebsbudget ein Volumen von 5,5 Millionen Euro hat, soll um 175 000 Euro auf künftig knapp 5,7 Millionen Euro steigen. Ein entsprechender Beschluss hat das Kabinet gefasst. Der Landtag

muss den Landeshaushalt allerdings noch im Dezember beschließen. Ab Januar kann das Geld dann fließen. **Experte für Nanophotonik** „Zusätzliche Mittel für die Vorlauforschung sind dringend notwendig, um das Laser-Laboratorium zu einem Experten für Nanophotonik weiterzuentwickeln“, erklärte Institutsdirektor Professor Alexander Egner. Gegenüber außeruniversitären Forschungseinrichtungen in gemeinsamer Bund-Länder-Finanzierung seien die allein vom Land finanzierten Institute oftmals im Nachteil. So finde bei ihnen beispielsweise der Pakt für Forschung und Innovation keine Anwendung. Die letzte Erhöhung



Der Minister besucht das Laser-Laboratorium mit Alexander Egner, Stefan Hehl, Jürgen Troe und Sebastian Huster. *Foto: hc*

habes es vor mehr als sieben Jahren gegeben. Das Laser-Laboratorium mit seinen knapp 50 Mitarbeitern, so Egner, behaupte sich nicht zuletzt aufgrund seiner effektiven Strukturen. Die Verwaltungskosten seien gering, die Entscheidungswege kurz. Das würdigte der Minister, dessen Haus das Institut im vergangenen Jahr

evaluierten ließ. Die Göttinger schritten mit Bestnoten ab. Thümler lobte den „sehenswerten hohen Anteil an Drittmitteln“, den das Laser-Laboratorium einwirft. Er hob die industrielle Forschung und die Ausgründungen aus dem Institut hervor. „Viele Wissenschaftler finden im Anschluss an Forschungsprojekte bei den beteiligten Firmen

eine Anstellung“, berichtete Professor Jürgen Troe, der das Institut 1987 mitgegründet hat und heute dem Vorstand vorsteht.

Nobelpreisträger im Vorstand

„Ergebnisse aus der Grundlagenforschung, die für den Markt interessant sein können, benötigen in der Regel eine Weiterentwicklung bis zur Marktreife“, erklärte Professor Stefan Hehl. Der Direktor am Göttinger Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie gehört dem Vorstand des Laser-Laboratoriums an. Das Institut erfülle die Mittlerfunktion, die weder von der Wissenschaft noch von einem Unternehmen vollständig geleistet werden könne, „vorbildlich“, so der Nobelpreisträger.