

# JAHRBUCH 2020

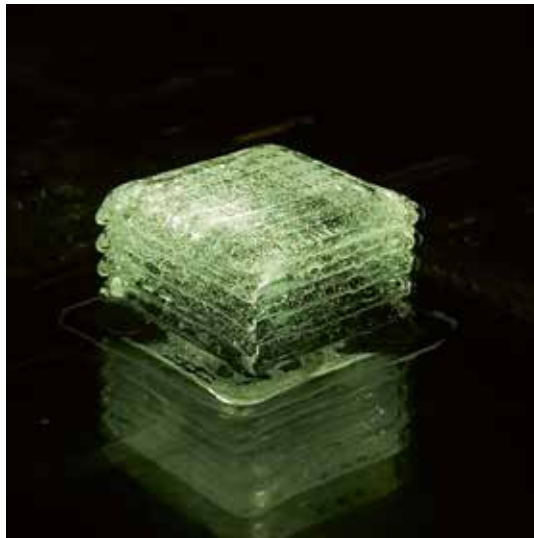
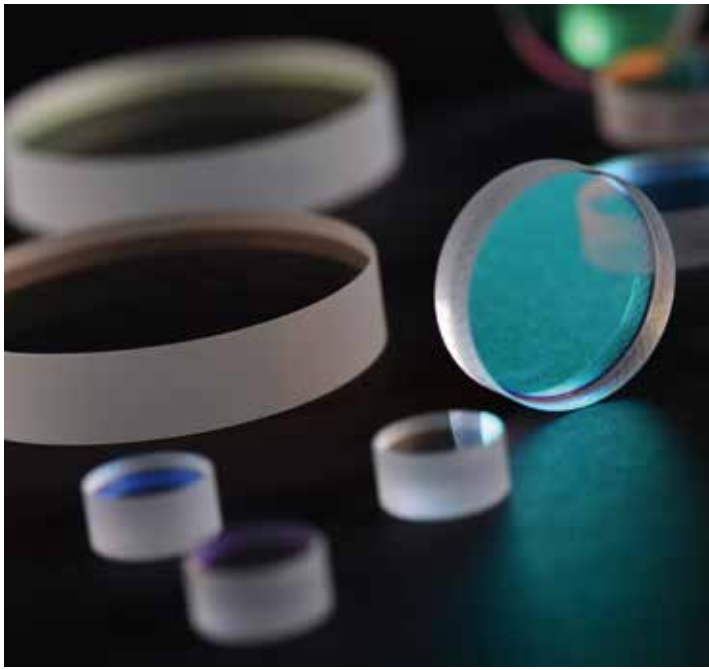
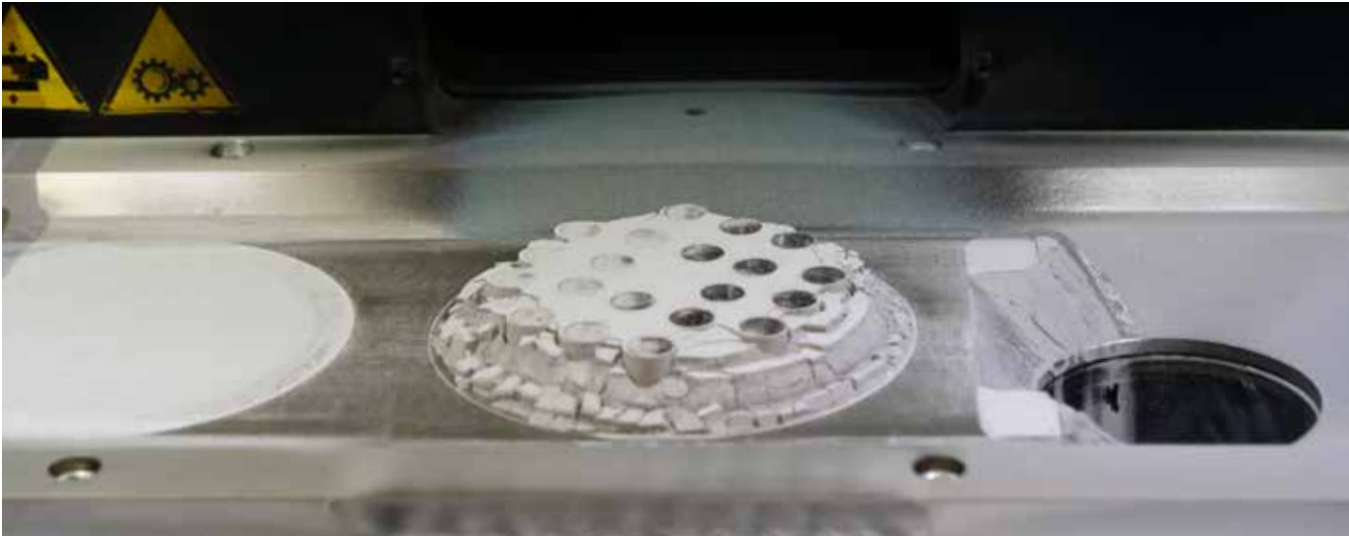
research | development | consulting





# **JAHRBUCH 2020**

research | development | consulting



## DAS LZH IM FOKUS

Rückblick auf das Jahr 2020 .....	4
Das Jahr in Kürze .....	7
Niedersachsen ADDITIV .....	14

## DAS LZH – AUFBAU UND FAKTEN

Profil .....	17
Organisation .....	18
Organisationsstruktur .....	18
Mitglieder .....	18
Aufsichtsrat .....	18
Vorstand .....	19
Wissenschaftliches Direktorium .....	20
Industriebeirat .....	20
Fachabteilungen .....	21
Abteilungsleitungen .....	21
Das LZH in Zahlen .....	22
Umsatzentwicklung .....	22
Gliederung der Einnahmen .....	23
Personalentwicklung .....	23

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Abteilung Optische Komponenten .....	24
Abteilung Laserentwicklung .....	27
Abteilung Industrielle und Biomedizinische Optik .....	30
Abteilung Produktions- und Systemtechnik .....	33
Abteilung Werkstoff- und Prozesstechnik .....	36
Akademische Arbeiten .....	40

## NACHWUCHSFÖRDERUNG UND WEITERBILDUNG

Nachwuchsförderung .....	41
LZH Laser Akademie .....	42
Vorlesungen und Seminare .....	43

## VERANSTALTUNGEN .....

44

## VERÖFFENTLICHUNGEN

Abteilung Optische Komponenten .....	45
Abteilung Laserentwicklung .....	45
Abteilung Industrielle und Biomedizinische Optik .....	48
Abteilung Produktions- und Systemtechnik .....	49
Abteilung Werkstoff- und Prozesstechnik .....	50

## UNSER ANGEBOT .....

52

## SERVICE-ABTEILUNGEN .....

56

### Das Titelbild

Im Projekt MOONRISE konnten 2020 erstmals mit dem Laser Bahnen aus Regolith, wie der LZH-Schriftzug auf der Titelseite, aufgeschmolzen werden. Mehr dazu z. B. auf S. 11 (Foto: LZH)

EXZELLENT  
FORSCHUNG  
IN HANNOVER

## DAS LZH IM FOKUS

### RÜCKBLICK AUF DAS JAHR 2020

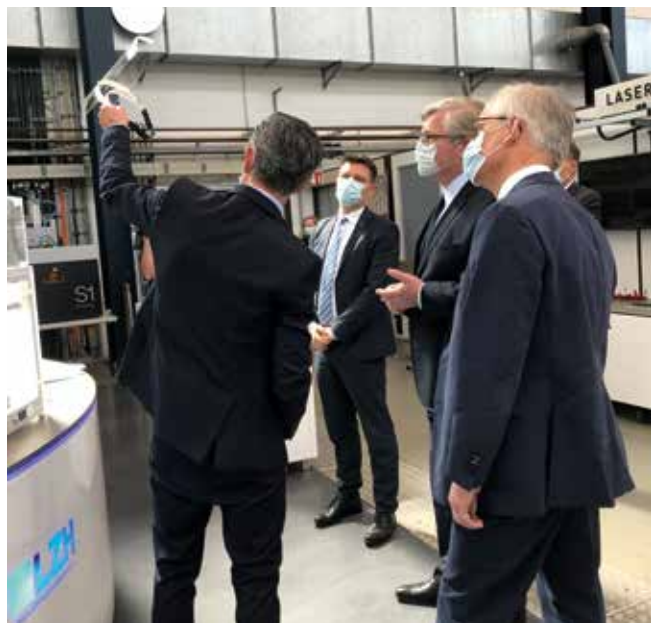
**2020 war ein Jahr, das uns allen ganz besonders in Erinnerung bleiben wird und dessen Auswirkungen wir noch immer nicht abschätzen können. Ein Jahr, in dem wir lernen mussten, mit bis dahin ungeahnten Einschränkungen umzugehen. Ein Jahr, das unser aller Berufs- und Privatleben nachhaltig verändert und kaum etwas besser oder einfacher gemacht hat. Aber auch ein Jahr, in dem wir so manche Herausforderung angenommen und gemeistert haben. Zu Beginn der Pandemie haben wir am Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH) unsere Arbeitsprozesse in Richtung „mobiles Arbeiten“ umorganisiert und ein Konzept auf die Beine gestellt, mit dem wir untereinander kommunikativ verbunden und im Institut arbeitsfähig geblieben sind. Wir haben im Team verschiedene Instrumente und Funktionen etabliert und genutzt, um die virtuelle Zusammenarbeit zu erleichtern und die Verbundenheit auch über die räumliche Ferne zu stärken. Dass wir bisher gemeinsam so gut durch diese schwierige Zeit gekommen sind, ist ein schönes Zeichen unseres Zusammenhalts.**

#### **Schutzvisiere für Arztpraxen und Kliniken**

Als zu Beginn der Pandemie Schutzausrüstungen in niedersächsischen Arztpraxen noch Mangelware waren, fertigten die rapid product manufacturing GmbH (rpm), Meko Laserstrahl-Materialbearbeitungen e.K. (MeKo) und das LZH zusammen 3D-gedruckte und lasergeschnittene Schutzvisiere. Die ersten Exemplare spendeten sie an Arztpraxen und Kliniken. Niedersachsens Wirtschaftsminister Dr. Bernd Althusmann lobte die spontane Herstellung der Schutzvisiere und die Zusammenarbeit von niedersächsischen KMU



und dem LZH. Bei seinem Besuch im Versuchsfeld des LZH sagte er: „Bei der Behandlung von Covid-19-Patienten müssen Ärzte und Pflegepersonal vor einer Ansteckung geschützt werden. Schutzmaterialien wie die im Laser Zentrum Hannover gefertigten Schutzvisiere helfen dabei und können Leben retten.“



*Schutzvisiere für die erste Zeit der Pandemie aus niedersächsischer Gemeinschaftsarbeit der Firmen MeKo, rpm und des LZH. (Foto: LZH)*



### Krebszellen von gesunden Zellen unterscheiden

Zuverlässigere Informationen über Gewebeproben und mögliche Erkrankungen zu gewinnen – das ist das ehrgeizige Ziel des Projekts CARMEN, das im Jahr 2020 angelaufen ist. In dem Forschungs- und Entwicklungsprojekt geht es darum, eine Laserquelle zu entwickeln, die es ermöglicht drei Mikroskope in einem System zusammenzufassen. Dieses vollkommen neue Bildgebungssystem wäre energieeffizienter, kostengünstiger und kompakter als die einzelnen Mikroskop-Systeme und könnte die Untersuchung von Gewebeproben schon während der Operation ermöglichen. Konventionelle, laserbasierte Mikroskope ermöglichen meist nur eine einzige Bildgebungsmethode, wie zum Beispiel die konfokale Mikroskopie, die Multi-Photonen-Mikroskopie oder die kohärente Anti-Stokes Raman-Spektroskopie (engl.: CARS). Die Kombination der drei Methoden in einem System ermöglicht es, mehrere Informationsebenen zu überlagern und dadurch schneller ein genaueres Bild der Zellen zu erhalten. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des LZH arbeiten an dem Lasersystem, das dort Einsatz finden soll, mit dem belgischen Forschungsinstitut Multitel an einer neuartigen, faserbasierten Ultrakurzpulsquelle. An der Realisierung des Projekts sind außerdem Unternehmen aus Deutschland und Belgien beteiligt.

### 3D-Druck in niedersächsische Firmen integrieren

Niedersachsen ADDITIV geht in die zweite Phase. Ziel des vor drei Jahren gestarteten mehrphasigen Vorhabens ist, niedersächsische Unternehmen darin zu unterstützen, den 3D-Druck einzuführen, umzusetzen und weiterzuentwickeln. Während in Phase 1 landes-

weite Dialogveranstaltungen durchgeführt und mit KMU allgemeine Fragen wie „wann lohnt sich 3D-Druck?“ und „wie könnte die Automatisierung, die Qualitätssicherung und die Reproduzierbarkeit in einem Betrieb aussehen?“ diskutiert wurden, sollen in Phase 2 Unternehmen aus verschiedenen Branchen konkret bei der Integration und Weiterentwicklung unterstützt werden. Firmen mit einer konkreten Projektidee, können sich bei Niedersachsen ADDITIV um einen exklusiven „Praxis-Check 3D-Druck“ bewerben und erhalten bei Zuschlag eine kostenlose Analyse und Empfehlung, ob und wie das Unternehmen sein 3D-Druck-Vorhaben in die eigenen Produktionsabläufe integrieren kann. Der Praxis-Check wird von 3D-Druck-Experten des LZH und des Instituts für Integrierte Produktion Hannover durchgeführt und die Umsetzung Schritt für Schritt begleitet. Andere Unternehmen profitieren von den Best-Practice-Beispielen. Außerdem wird in dem Projekt die Grundlage für den Transfer von Innovationen in die Unternehmen gelegt, durch Studien zu komplexen Geometrien und bionischen Strukturen sowie der Erschließung neuer Materialien für den 3D-Druck oder Analysen zur Integration in die Prozessumgebung. Veranstaltungen bieten niedersächsischen Unternehmen die Möglichkeiten sich über den 3D-Druck im Allgemeinen oder über Trends und Entwicklungen im Speziellen zu informieren. Seitens der LZH Laser Akademie werden 3D-Druck-Schulungsangebote und digitale Weiterbildungen bereitgestellt.

### Umweltschutz – Laser gegen Unkräuter

Zur Bekämpfung resistenter Unkräuter erprobt das Laser Zentrum Hannover im Forschungsvorhaben LURUU, zusammen mit niedersächsischen Institutionen aus dem Agrar-Bereich sowie zwei Landwirten aus der Region Hannover, einen laserbasierten Ansatz auf seine Praxistauglichkeit. In dem Umweltschutzprojekt soll eine robuste, feldtaugliche und vor allem mobile Lasereinheit entwickelt werden, die die Pflanzenerkennung mit dem Lasersystem kombiniert. Kamera und Objekterkennungssoftware identifizieren das Unkraut und ein Laser bestrahlt und schädigt das Wuchszentrum der Pflanze. Die Nutzpflanze gewinnt so den Kampf um Licht, Wasser und Nährstoffe und erhält dabei den entscheidenden Wuchsvorteil.



Niedersachsen ADDITIV ist 2020 in die zweite Phase gegangen, mit mehr Unterstützungsangeboten für niedersächsische Unternehmen im Bereich 3D-Druck. (Foto: LZH)



Laser könnten in Zukunft auf dem Acker für die automatisierte Unkrautbekämpfung eingesetzt werden. (Grafik: LZH)

Die laserbasierte Strategie im Umgang mit resistenten Unkräutern hat großes Zukunftspotenzial: zum einen ökologisch, wenn umfangreiche Herbizidmaßnahmen in der Landwirtschaft in Zukunft durch eine Laserbehandlung ergänzt oder gänzlich ersetzt werden können, zum anderen ökonomisch, wenn stark von resistenten Unkräutern befallene Flächen in der Produktion bleiben können.

**Saubere Schiffsrümpfe - Laserreinigung unter Wasser**

Ein erhebliches Problem für die maritime Wirtschaft stellt der Bewuchs von Schiffsrümpfen dar. Dieses sogenannte Biofouling erhöht den Strömungswiderstand und dadurch den Kraftstoffverbrauch, was wiederum zu einem Anstieg der ausgestoßenen Emissionen führt. Konventionell werden bei der Entfernung des Bewuchses unter Wasser mechanische Reinigungsverfahren wie beispielsweise Bürsten oder auch Hochdruckwasserstrahlen eingesetzt. Dabei können große Teile des Bewuchses ins Wasser gelangen, wodurch invasive Arten eingeschleppt werden. Abhängig von der Bewuchsschutz-Beschichtung wird auch diese durch die Reinigung abgetragen und gelangt somit ins Wasser. Der Abtrag dieser biozidhaltigen Beschichtung sowie die Verschleppung invasiver Arten stellt eine massive Gefahr für das Ökosystem Meer dar. Die mechanische Reinigung hat zudem eine wirtschaftliche Komponente: Die Anzahl der durchführbaren Reinigungen ist begrenzt, danach ist es nicht mehr möglich, den Schiffsrumpf immer bedarfsgerecht zu reinigen und führt so zu steigendem Kraftstoffverbrauch beziehungsweise erhöhten Kosten für den Auftrag einer neuen Beschichtung. Das Laser Zentrum Hannover entwickelt im Forschungsprojekt „FoulLas“ zusammen mit zwei Partnern ein laserbasiertes Reinigungsverfahren, um den Bewuchs ohne Beschädigung der darunterliegenden Beschichtung unter Wasser schonend und effizient zu entfernen. Die Laserstrahlung macht den



Ankunft des vom LZH entwickelte Lasersystem für die Entfernung von Biofouling auf Helgoland. (Foto: LZH)

Bewuchs unschädlich, dieser soll anschließend durch die Strömung abgewaschen werden. Das ressourcenschonende Verfahren kann später unter anderem auch bei Gerüststrukturen von Offshore-Windenergie, Gas- und Ölplattformen, Aquakulturnetzkäfigen und Bojen zum Einsatz kommen.

**60 Jahre Laser: Aktuell wie nie**

2020 ist aber auch ein besonderes Jahr für den Laser gewesen, er ist 60 Jahre alt geworden. „Eine Lösung, die ihr Problem sucht“, soll der Erfinder des Lasers Theodore H. Maiman über seine Erfindung gesagt haben. 60 Jahre später ist der Laser eine Lösung für viele Herausforderungen, vom Einsatz in der Medizin, als Messinstrument, als universal einsetzbares Werkzeug auf dem Acker und Unterwasser. Das LZH wird auch in Zukunft Probleme finden, die mit dem Laser zu lösen sind.

**Neuer LZH Aufsichtsrats-Vorsitzender**

Am 13. November 2020 wurde Dr.-Ing. Dipl.-Oek. Clemens Meyer-Kobbe vom Aufsichtsrat des Laser Zentrum Hannover e.V. zum neuen Vorsitzenden gewählt. Er folgt auf Dr. Horst Schrage, der im Sommer 2020 als Haupt-Geschäftsführer der IHK Hannover in den Ruhestand gegangen ist. Wir danken Dr. Horst Schrage für die langjährige vertrauensvolle Zusammenarbeit.

In diesem Jahr danken wir insbesondere allen LZH´lerinnen und LZH´lern für Ihren besonderen Einsatz. Gemeinsam wurde ein neuer Arbeitsalltag geschaffen, flexible Lösungen gefunden und umgesetzt, um Forschung und Entwicklung auch in dieser schwierigen Zeit voranzutreiben. Unser Dank gilt aber natürlich auch unseren Partnern und Kunden sowie unseren Förderern für die Zusammenarbeit und Unterstützung in diesen besonderen Zeiten.

**Dr. rer. nat. Dietmar Kracht**

Wissenschaftlich-Technischer  
Geschäftsführer LZH

**Dr.-Ing. Stefan Kaierte**

Wissenschaftlich-Technischer  
Geschäftsführer LZH

**Dipl.-Verw. (FH) Klaus Ulbrich**

Kaufmännischer  
Geschäftsführer LZH



## DAS JAHR IN KÜRZE

### MOMA-Laser des LZH bereit für den Flug zum Mars

10.01.2020

Zum letzten Mal auf Erden ging er im Dezember 2019 in Frankreich in Betrieb. Das nächste Mal angeschaltet wird der vom LZH entwickelte MOMA-Laser erst wieder auf dem Mars. Der Laser des LZH ist ein zentraler Bestandteil des Messinstruments Mars Organic Molecule Analyser (MOMA), das in der „Laborschublade“ des Rovers verbaut ist. Der MOMA-Laser soll auf dem Mars Bodenproben in die Gasphase bringen, um anschließend mit einem Massenspektrometer die Probe auf ihre molekulare Zusammensetzung hin zu untersuchen. Würde der Rover organische Moleküle finden, könnte das ein Hinweis auf vormaliges Leben auf dem Mars sein.



Der ExoMars Rover mit dem MOMA-Laser bestand bei Airbus in Toulouse erfolgreich Thermal-Vakuum-Tests. (Foto: Airbus)

### Dr. Wolfgang Ebert Familienunternehmer des Jahres

31.01.2020

Dr. Wolfgang Ebert, Geschäftsführer der Firma Laseroptik und Mitglied im Industriebeirat des LZH, ist vom Verband der Familienunternehmer ausgezeichnet worden. Im Januar kürte der Regionalkreis Hannover Dr. Ebert zum Familienunternehmer 2020.



Dr. Wolfgang Ebert, Geschäftsführer der Firma Laseroptik (Foto: Laseroptik GmbH)

### LZH bei der ARD-Sendung [W] wie Wissen

18.02.2020

In der ARD-Sendung „[W] wie Wissen“ zum Thema „Licht“ wurde der Beitrag „Laser - ein Allround-Werkzeug“ gezeigt. Gedreht wurde dieser im LZH und im Niedersächsischen Zentrum für Biomedizintechnik, Implantatforschung und Entwicklung (NIFE).



Im ARD-Fernsehbeitrag wurden die Möglichkeiten der Lasertechnologie vorgestellt. (Foto: LZH)

### Auszeichnung für LZH-Mitarbeiter Sven Hochheim auf der Photonics West

25.02.2020

Im Rahmen der SPIE Photonics West wurde Sven Hochheim, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am LZH, für seine Forschungsergebnisse und seinen Vortrag mit dem 3. Platz des „LASE 2020 Best Paper Award“ für Doktoranden ausgezeichnet.

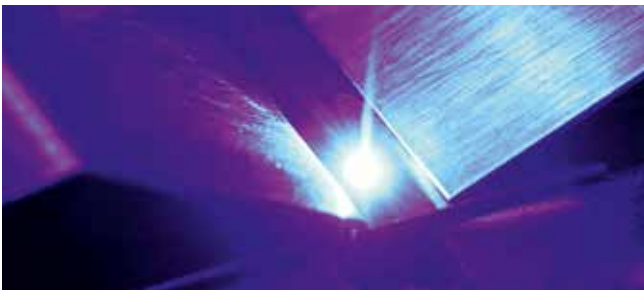


Prof. Liang Dong überreichte Sven Hochheim den Preis in San Francisco (Foto: SPIE)

**Saubere Schiffsrümpfe: Entwicklung einer schonenden Laserreinigung zur Anwendung unter Wasser**

28.02.2020

Der Bewuchs auf Schiffsrümpfen ist ein erhebliches Problem für die maritime Branche. Dieses sogenannte Biofouling erhöht den Strömungswiderstand und dadurch den Kraftstoffverbrauch und die Emissionen. Das LZH will daher zusammen mit zwei Partnern ein laserbasiertes Reinigungsverfahren entwickeln, um den Bewuchs ohne Beschädigung der darunterliegenden Beschichtung schonend und effizient zu entfernen. Dabei sollen die lackbasierten Anti-fouling- und Korrosionsschutzsysteme sowie die Materialschichten selbst nicht beschädigt werden.



Biofouling schädigen und die darunterliegende Lackschicht schonen: Unter anderem soll ein blauer Laser auf seine Eignung getestet werden. (Foto: Laserline GmbH)

**Strahlformung kombiniert mit Laserscanner**

24.03.2020

Zusammen mit der Firma CAILabs hat das LZH einen Bessel-Strahl mit einem Laserscanner kombiniert. Bessel-Strahlen zeichnen sich durch einen – im Vergleich zu Gauß-Strahlen – sehr langen Fokusbereich aus. Dadurch ist die Optik sehr belastbar, leistungsfest und auch für ultrakurze Laserpulse geeignet. Mit dem Systemaufbau lassen sich transparente Materialien wie Glas und Kunststoff mit einem Ultrakurzpuls-Laser effizient bearbeiten.



Mit einer Kombination aus Axicon und Laserscanner wird eine effizientere Bearbeitung von Glas möglich. (Foto: LZH)

**Nietlöcher in CFK mit dem Laser bohren – Effizientes Verfahren für Serienbauteile**

10.03.2020

Ein laserbasiertes System zum Bohren von Nietlöchern in Verbundwerkstoffen hat das LZH zusammen mit vier Partnern im Verbundprojekt LaBoKomp entwickelt. Das LZH war dabei maßgeblich an der Entwicklung des zugrundeliegenden Verfahrens und der dazugehörigen Anlagentechnik beteiligt. Die Bohrzeit pro Loch konnte so für laserbasierte Verfahren drastisch gesenkt werden. Mit einer Bohrdauer von weniger als 10 Sekunden ist das neue Verfahren mit konventionellen nun gleichauf.



Das laserbasierte Bohrverfahren und die dazugehörige Anlage wurden an sogenannten Cargo Struts aus der Luftfahrt getestet. (Foto: LZH)

**Tonnenschwere Getriebeteile aus dem 3D-Drucker**

24.03.2020

Bauteile für Schiffsgetriebegehäuse könnten künftig aus dem 3D-Drucker statt aus der Gießerei kommen. Niedersächsische Forschungsinstitute, darunter das LZH, und Unternehmen entwickeln gemeinsam im Projekt XXL3DDruck einen 3D-Drucker, der stählerne Bauteile mit einem Gewicht von mehreren Tonnen herstellen kann. Die Forscher gehen davon aus, dass dafür deutlich weniger Material und Zeit benötigt wird als beim Gießen.

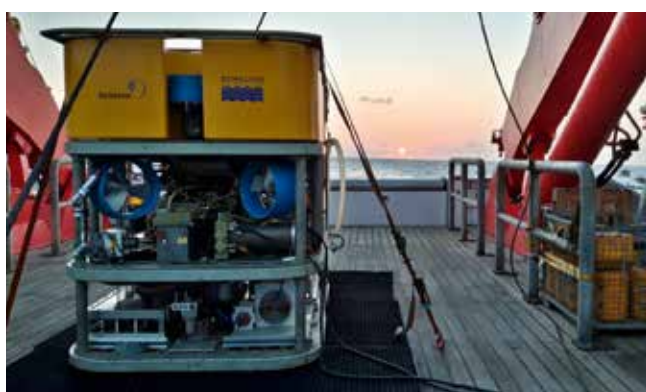


Auf dem Weg zu riesigen Bauteilen: Dieses additiv gefertigte Bauteil ist 18,5 cm breit und innen hohl. (Foto: LZH)

### Mit dem Laser Bodenschätze in der Tiefsee finden

31.03.2020

Bodenschätze am Meeresboden zu lokalisieren, ist bislang mit sehr hohen Kosten verbunden. Das LZH hat zusammen mit acht weiteren Partnern im EU-Projekt ROBUST ein laserbasiertes Analysesystem entwickelt, um Bodenproben in der Tiefsee nahezu zerstörungsfrei zu untersuchen. Erste Praxistests hat das System bestanden. Auf einer Forschungsfahrt in der Ostsee konnte das System selbst in trüben Gewässern zuverlässig Kupfer und Zink in den vorbereiteten Proben erkennen. Dies sind vielversprechende Grundlagen für weitere Versuche unter realen Bedingungen in der Tiefsee.

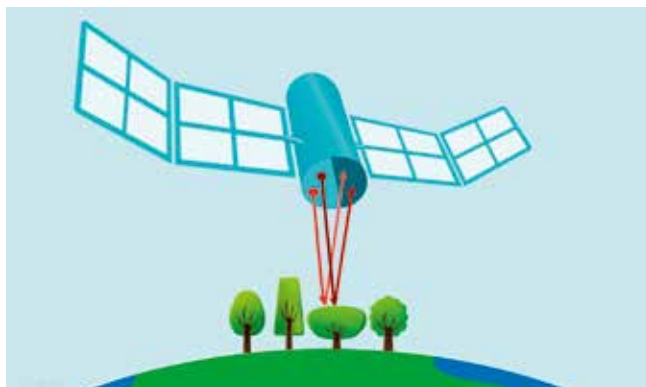


Das LIBS-System des LZH auf dem ferngesteuerten Unterwasserfahrzeug ROV Kiel 6000. (Foto: GEOMAR)

### EU-Projekt GALACTIC entwickelt Lieferkette für Alexandrit-Laserkristalle

02.04.2020

Im europäischen Projekt GALACTIC will das LZH zusammen mit zwei Partnern den Prozess der Kristallzucht und der Nachbehandlung verbessern, neuartige Beschichtungskonzepte entwickeln und einen Laser-Demonstrator anfertigen. So soll eine unabhängige, rein europäische Lieferkette für Alexandrit-Laserkristalle aufgebaut werden. Zum Einsatz kommen sollen diese Laserkristalle in Erdbeobachtungssatelliten im Weltraum.

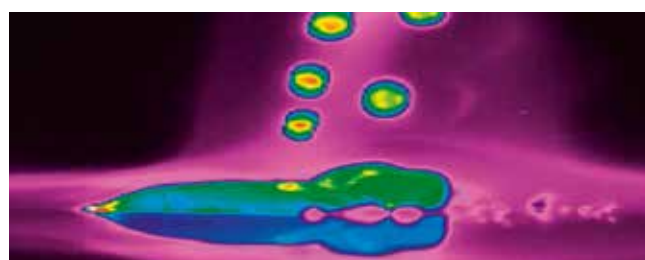


Das GALACTIC-Konsortium qualifiziert Alexandrit-Laserkristalle für Hochleistungsanwendungen im Weltraum. (Grafik: LZH)

### Hochdurchsatz beim Auftragschweißen

28.04.2020

Beim Doppeldrahtauftragschweißen kann eine Schicht Material mit einer Abschmelzrate von mehr als 20 Kilogramm pro Stunde und geringer Aufmischung von unter fünf Prozent aufgetragen werden. Die physikalischen Grundlagen dahinter erforscht das LZH nun zusammen mit einem Partner in einem DFG-Projekt. Dabei werden sie unter anderem ein Prozessmodell entwickeln. Mithilfe dessen führen sie grundlegende Untersuchungen durch, um höhere Auftragsraten bei gleichzeitig geringer Aufmischung des Grundwerkstoffes mit dem Auftragwerkstoff zu erreichen.



Laserstrahlung sorgt für eine sichere Anbindung beim Doppeldrahtauftragschweißen. (Foto: LZH)

### Kooperation in Zeiten von Corona: rpm, MeKo und LZH spenden Schutzvisiere

06.05.2020

Die rapid product manufacturing GmbH (rpm), MeKo Laserstrahl-Materialbearbeitungen e.K. und das LZH fertigten zusammen 3D-gedruckte und lasergeschnittene Schutzvisiere und spendeten die ersten Exemplare an Arztpraxen und Kliniken. Niedersachsens Wirtschaftsminister Dr. Bernd Althusmann lobte bei einem Besuch im LZH die Zusammenarbeit von niedersächsischen KMU und dem Forschungsinstitut. Mit Hilfe der Lasertechnik lassen sich Schutzvisiere ohne lange Vorlaufzeit, flexibel – und vor allem vor Ort produzieren.



Schutzvisiere aus dem 3D-Drucker und der Laserschneideanlage – Dr. Bernd Althusmann (rechts), niedersächsischer Wirtschaftsminister, besichtigte das LZH. (Foto: LZH)

**PhotonicNet4Farming: Netzwerk für Agrar- und Lebensmittelwirtschaft**

25.05.2020

Das neu gestartete Netzwerk PhotonicNet4Farming der PhotonicNet GmbH will Technologietransfer-Lösungen für aktuelle Fragestellungen der Agrar- und Lebensmittelwirtschaft initiieren. Die möglichen Werkzeuge kommen hierbei aus dem Bereich der Photonik und den Optischen Technologien. Das LZH ist insbesondere mit der Gruppe Food and Farming an dem Projekt beteiligt. Die Gruppe forscht momentan an der Unkrautbekämpfung mit dem Laser sowie an alternativen Methoden für die Lebensmittelverarbeitung. Auch das Thema Leichtbau in der Agrartechnik wird am LZH verfolgt.

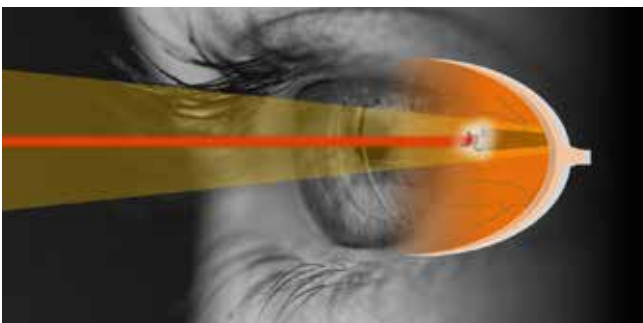


Die Gruppe Food and Farming des LZH beschäftigt sich im Netzwerk mit der Laser-Unkrautbekämpfung. (Foto: Pixabay)

**Klare Sicht – Projekt zur sichereren Laserbehandlung von Floatern gestartet**

26.05.2020

Glaskörpertrübungen, sogenannte Mouches volantes oder Floater, stören viele Menschen in ihrer Sicht. Bisher wird häufig von einer Behandlung dieser alterungsbedingten Veränderung des Auges abgeraten. Die Gruppe Biophotonik des LZH möchte einen möglichen Behandlungsansatz nun im Projekt XFloater weiter optimieren. Dazu wollen sie einen Femtosekunden-Laser einsetzen. Durch die geringere Pulslänge der Laserstrahlung könnten sie die ins Auge eingebrachte Energiemenge so noch weiter reduzieren. Damit wollen sie Komplikationen wie Katarakt- oder Glaukombildung vermeiden und zusätzlich einen Einsatz im hinteren Augenbereich, näher an der Retina, ermöglichen.



Das LZH arbeitet daran, die Laserbehandlung von Glaskörpertrübungen, sogenannten Floatern, sicherer zu machen. (Grafik: LZH)

**Drehwinkel und Drehmoment berührungsfrei auslesen**

27.05.2020

Drehwinkel und Drehmoment von Wellen in Turbinen, Autos, Windenergieanlagen und Elektromotoren ließen sich optimalerweise berührungsfrei auslesen. Das LZH und das Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH (IPH) arbeiten zusammen daran, ein solches neuartiges Messverfahren für die Produktentwicklung vorzubereiten. Im Rahmen dessen haben sie ein Verfahren entwickelt, bei dem codierte Markierungen auf eine Welle aufgebracht und mittels Kameras ausgelesen werden.

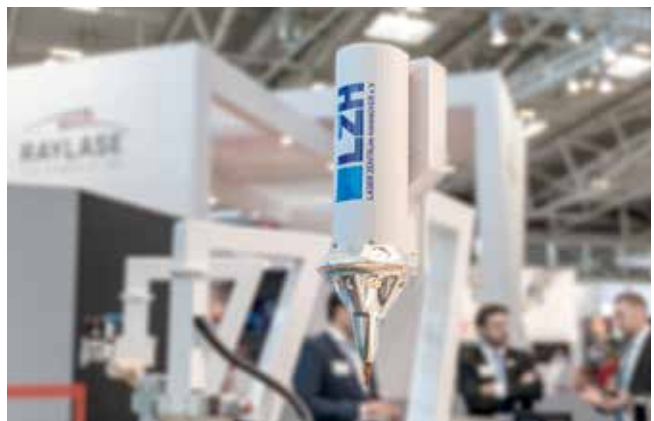


Berührungsfreies Auslesen von Drehwinkel und -moment von Wellen würde mehr Platz im Bauraum schaffen. (Foto: LZH)

**Subtraktive und Additive Fertigung in einer Maschine**

28.05.2020

In einem neuen Projekt kombinieren das LZH und ein niedersächsisches kleine und mittlere Unternehmen die drahtbasierte Additive Fertigung mit der subtraktiven spanenden Fertigung. Hierzu wird eine Fräsmaschine mit einer Laseranlage ausgestattet. Der in der Anlage enthaltene Laserkopf soll wie andere Werkzeuge automatisch eingewechselt werden können. Durch diese Zusammenführung der additiven und subtraktiven Prozesse können die Bauteile in einer einzigen Maschine komplett fertig bearbeitet werden.



Dieser vom LZH entwickelte Laserbearbeitungskopf zum koaxialen Laser-Draht-Auftragschweißen soll als Werkzeug in eine HSC-Fräsmaschine integriert werden. (Foto: LZH)

## Finanzminister Reinhold Hilbers zu Besuch im LZH

16.06.2020

Der niedersächsische Finanzminister Reinhold Hilbers besuchte Mitte Juni das LZH. Dabei informierte er sich ausführlich über den Optikstandort Hannover, insbesondere das Exzellenzcluster PhoenixD sowie die Forschungs- und Entwicklungsarbeit am LZH.



Niedersachsens Finanzminister Reinhold Hilbers informierte sich bei seinem Besuch im LZH über die Möglichkeiten der Lasertechnologie. (Foto: LZH)

## MOONRISE: 3D-Druck auf den Mond bringen – Mondstaub unter Mondbedingungen geschmolzen

01.07.2020

Die Kugeln wirken unscheinbar – doch sie sind weltweit einzigartig. Sie bestehen aus Mondstaub, aufgeschmolzen unter Mondgravitation im Rahmen des Projekts MOONRISE. Dieses bisher einmalige Experiment hat das LZH zusammen mit dem Institut für Raumfahrtssysteme der Technischen Universität Braunschweig im Einstein-Elevator des Hannover Institute of Technology der Leibniz Universität Hannover durchgeführt.

Geschmolzen wurde synthetisch hergestellter Mondstaub, das sogenannte Regolith, mit einem vom LZH entwickelten Lasersystem sowohl unter Mond- als auch unter Mikrogravitation.

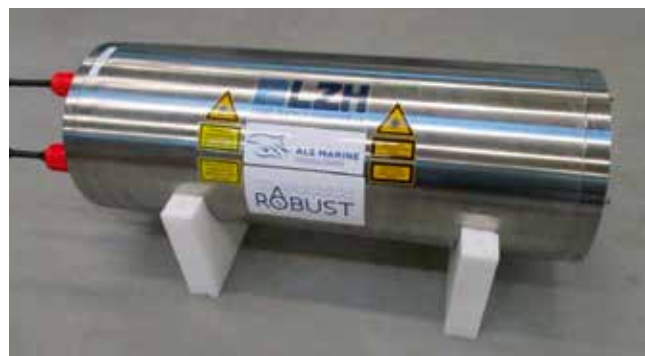


Mondstaub zu Kugeln aufschmelzen unter Mondbedingungen – möglich macht dies der Einstein-Elevator des HITec. (Foto: LZH)

## LZH sechsmal als Key Innovator gelistet

23.06.2020

Für die beiden EU-Forschungsprojekte ROBUST und MESO-BRAIN ist das LZH beim European Commission's Innovation Radar sechsmal als Key Innovator gelistet. Im Projekt ROBUST entwickelte das LZH ein Tiefsee-taugliches laserbasiertes System, mit dem unter Wasser Bodenproben auf ihre molekulare Zusammensetzung untersucht werden können. Ausgezeichnet wurde das LZH zusammen mit der neoLASE GmbH und einem weiteren Partner für die Entwicklung des LIBS-Sensorsystems. Weiterhin wurde das LZH gemeinsam mit neoLASE GmbH für die Entwicklung eines miniaturisierten Doppelpulslasers gewürdigt. Im Projekt MESO-BRAIN wurden gleich drei Entwicklungen im Bereich „Exzellente Forschung“ herausgestellt. Besondere Beachtung fanden die Arbeiten zum Aufbau einer kortikalen Säule als neuartiges In-vitro-Modell für Forschung, Entwicklung und Screening; die Arbeiten zu neuen Toxizitätsassays mit dreidimensionalen neuronalen Kulturen sowie die Zwei-Photonen-Polymerisation für die Produktion von dreidimensionalen Scaffolds neuronaler Kulturen.



Für das im EU-Projekt ROBUST entwickelte LIBS-Sensorsystem und den Laser wurden das LZH und seine Partner als Key Innovators ausgezeichnet. (Foto: LZH)

## Alternative: Laser – neue Strategie im Umgang mit resistenten Unkräutern

23.07.2020

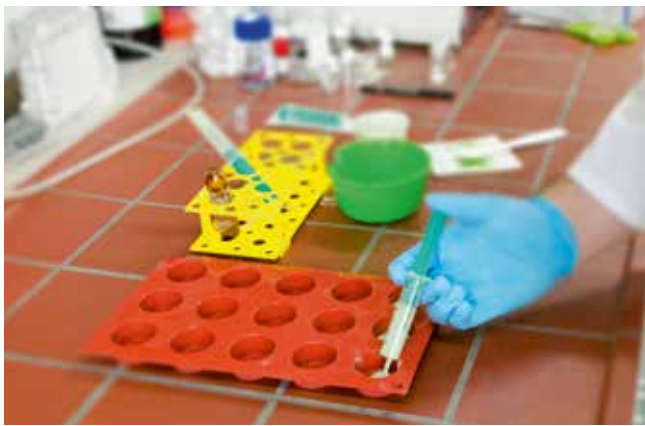
Ungräser wie Ackerfuchsschwanz und Windhalm sind mittlerweile ein akutes Problem auf landwirtschaftlichen Flächen. Um Alternativen im Kampf gegen Unkräuter und Herbizid-Resistenzen zu entwickeln, erprobt das LZH nun im Forschungsvorhaben LURUU zusammen mit Partnern und zwei Landwirten aus Niedersachsen einen laserbasierten Ansatz auf seine Praxistauglichkeit.

Grundlage für den laserbasierten Ansatz ist eine möglichst genaue Erkennung der Unkräuter mit einer Kamera und einer Objekterkennungssoftware. Mit einem Laser soll sehr spezifisch das Wuchszentrum des Unkrauts bestrahlt und geschädigt werden. Im neuen Projekt soll dieser Ansatz nun auch auf Gräser wie Windhalm und Ackerfuchsschwanz ausgeweitet werden.

**Hüftprothese tauschen – Knochenzement mit dem Laser schonender entfernen**

13.08.2020

Werden Hüftprothesen ersetzt, muss erst der alte Knochenzement im Oberschenkelknochen entfernt werden – eine komplexe Prozedur. Das LZH will ein Endoskop-basiertes Lasersystem entwickeln, mit dem Ärzte den alten Zement zukünftig bei besserer Sicht schonender entfernen können. Der alte Knochenzement muss bei einem Tausch komplett abgetragen werden. Der Chirurg kann diesen bisher nur mit hohem Kraftaufwand mechanisch oder mittels Ultraschall entfernen. Beide Prozeduren sind sehr zeitaufwendig.



Unter anderem mit frisch hergestellten Knochenzementproben wollen die Wissenschaftler des LZH den Laserabtrag testen und verbessern. (Foto: LZH)

**Zylinderlaufflächen effizient strukturieren**

20.08.2020

Zylinderlaufflächen von Leichtbaumotoren müssen, um sie langlebig zu machen, mit einer verschleißfesten Beschichtung ausgekleidet werden. Mit der neuen Generation des Laser-Innenbearbeitungskopfes (IBK) des LZH werden die Flächen dafür effizient vorbereitet. Bereits etablierte Verfahren wie Korundstrahlen oder die spanende Bearbeitung haben mit dem laserbasierten Aufrauen eine starke Konkurrenz bekommen: Denn der Laser arbeitet ohne Werkzeugverschleiß und sehr sauber. Da Werkzeugkosten, Reinigungsschritte und Rüstzeiten entfallen, ist der Laserprozess den etablierten Verfahren überlegen.



Die rotierende Spitze der Spindel mit dem Laserstrahl wird gesteuert in die Buchse abgesenkt. (Foto: LZH)

**Geflügelfleisch im Schlachtprozess mit dem Laser desinfizieren**

11.09.2020

Um die Bakterienlast zu reduzieren, setzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des LZH im Forschungsvorhaben ODLAB auf UV-Strahlung. Diese wirkt desinfizierend. Um möglichst alle Stellen auf dem Schlachtkörper oder Fleisch zu erreichen, wird der Projektpartner eine zusätzliche Behandlung mit Bakteriophagen erproben. Bakteriophagen sind Viren, die in Bakterien eindringen. In diesem Fall werden auf Campylobacter spezialisierte Phagen eingesetzt, die die Bakterienzellen zerstören können. Durch die Kombination der beiden Technologien soll eine möglichst große Keimzahl unschädlich gemacht werden.



Laser könnten in der Hühnerfleisch-Produktion eingesetzt werden, um die Kontamination mit Bakterien zu verringern. (Foto: Pexels)

**Ruf zum Professor für LZH-Gruppenleiter**

15.10.2020

Zum Wintersemester hat Dr. Dag Heinemann die Professur für Phytophotonik am Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme der Leibniz Universität Hannover (LUH) angetreten. Um die enge Anbindung an die optischen Technologien in Forschung und Lehre sicherzustellen, wird seine Arbeitsgruppe am Hannoverschen Zentrum für optische Technologien (HOT) angesiedelt. Prof. Dr. Dag Heinemann war vorher Leiter der Gruppe Biophotonik am LZH und im Rahmen dessen am Niedersächsischen Zentrum für Biomedizintechnik, Implantatforschung und Entwicklung (NIFE) tätig.



Prof. Dr. Dag Heinemann, ehemaliger Leiter der Gruppe Biophotonik, nahm den Ruf an die Leibniz Universität an. (Foto: LZH)

**Dr.-Ing. Clemens Meyer-Kobbe neuer  
Aufsichtsrats-Vorsitzender**

13.11.2020



Neuer Vorsitzender des Aufsichtsrats  
Dr.-Ing. Meyer-Kobbe. (Foto: MeKo)

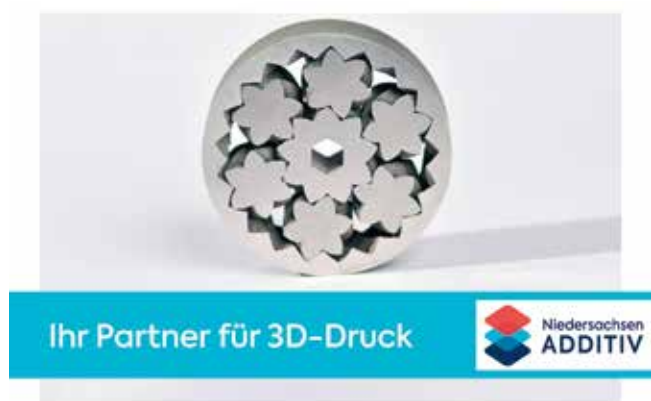
Mitte November wurde Dr.-Ing. Dipl.-Oek. Clemens Meyer-Kobbe vom Aufsichtsrat des LZH zum neuen Vorsitzenden gewählt. Er folgt auf Dr. Horst Schrage, der im Sommer 2020 als Haupt-Geschäftsführer der IHK Hannover in den Ruhestand gegangen ist. Dr.-Ing. Meyer-Kobbe gründete 1991 MeKo Laserstrahlmaterialbearbeitungen e.K. und ist seitdem Geschäftsführer des global agierenden, ISO-zertifizierten Unternehmens, das sich auf die hochpräzise Materialbearbeitung mit dem Laser spezialisiert hat.

**Potenzial 3D-Druck erschließen:  
Niedersachsen ADDITIV bietet Praxis-Check**

18.11.2020

Niedersächsische Unternehmen darin zu unterstützen, den 3D-Druck einzuführen, umzusetzen und weiterzuentwickeln: Das ist das Ziel von Niedersachsen ADDITIV. Das Land Niedersachsen ermöglicht die zweite Phase des Projekts bis 2023. Neu ist ein besonderes Angebot: der kostenlose Praxis-Check 3D-Druck für kleine und mittlere Unternehmen in Niedersachsen.

Ab Januar 2021 sind außerdem Informationsveranstaltungen in ganz Niedersachsen geplant – die auch digital stattfinden können. Kostenlose Schulungsangebote und digitale Weiterbildungen werden im Laufe des nächsten Jahres zur Verfügung stehen.



Potentiale des 3D-Drucks erschließen: Acht Bauteile werden eins – ein 3D-gedrucktes Planetengetriebe. (Grafik: LZH)

**Best Poster Award bei der ITHEC 2020  
für LZH-Mitarbeiter Richard Stähr**

24.11.2020

Den Preis für das beste Poster bei der digitalen ITHEC 2020 erhielt Richard Stähr, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am LZH, für seine Arbeiten zum hochqualitativen Laserbohren von CFK für die Nietvorbereitung im Luftfahrtbereich.

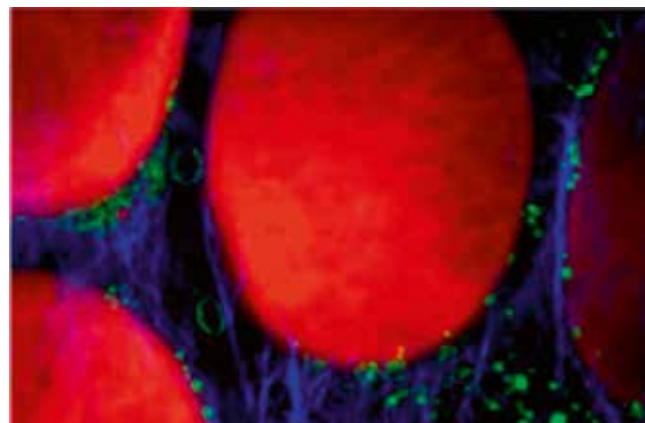


Richard Stähr, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am LZH, wurde im Rahmen der ITHEC 2020 mit dem Best Poster Award ausgezeichnet. (Foto: LZH)

**Krebszellen zukünftig schneller und  
genauer erkennen mit multimodaler Bildgebung**

22.12.2020

Während der Operation Tumorzellen schneller und genauer erkennen, ist das Ziel im EU-Forschungsprojekt CARMEN. Dafür wollen das LZH sowie deutsche und belgische Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft ein neuartiges, kompaktes und multimodales Bildgebungssystem entwickeln. Dieses könnte sogar die Untersuchung von Gewebeproben während der Operation ermöglichen. Das LZH entwickelt dafür eine neuartige, faserbasierte Ultrakurzpulsquelle. Diese soll synchron zwei optische parametrische Oszillatoren pumpen.



Im EU-Projekt CARMEN arbeiten Wissenschaft und Unternehmen an einem multimodalen Bildgebungssystem, das drei Methoden kombiniert. (Foto aus J. of Medical Imaging, 2(1), 016003 (2015))

## NIEDERSACHSEN ADDITIV

**Niedersächsische Unternehmen darin zu unterstützen, den 3D-Druck einzuführen, umzusetzen und weiterzuentwickeln – das ist das Ziel von Niedersachsen ADDITIV seit dem Start im Jahr 2017. Das gemeinsame Projekt des Laser Zentrum Hannover e. V. und des Instituts für Integrierte Produktion Hannover gGmbH (IPH) ist zum Sommer 2020 in die zweite Phase gegangen. Gefördert wird es vom Niedersächsischen Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung.**

### **Konkrete Unterstützung für niedersächsische Unternehmen**

Auf Basis der drei Säulen Forschung, Demonstration und Dialog sowie Netzwerk konnte Niedersachsen ADDITIV in der ersten Phase als Marke für den 3D-Druck in Niedersachsen etabliert werden. Um dem konkreten Unterstützungsbedarf niedersächsischer Unternehmen gerecht zu werden, baut Niedersachsen ADDITIV in der zweiten Phase sein Angebot für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) weiter aus. Neu ist dabei die branchenspezifische Ausrichtung der Angebote auf Mobilität, Medizintechnik, Agrar 4.0 und Maschinen- und Anlagenbau sowie auf das Handwerk. Als erste Ansprechpartner informieren und unterstützen die 3D-Druck-Experten von Niedersachsen ADDITIV KMU herstellerneutral und unabhängig.

### **Praxis-Check 3D-Druck für niedersächsische Unternehmen**

Ein besonderes Angebot der Phase 2 ist der kostenlose Praxis-Check 3D-Druck. Mit diesem begleitet und unterstützt Niedersachsen ADDITIV Unternehmen im Bundesland bei der Einführung, Integration und Weiterentwicklung des 3D-Drucks.

Firmen mit einer konkreten Projektidee können sich mit dieser für einen Praxis-Check 3D-Druck bewerben. Ausgewählte Firmen erhalten im Rahmen des Angebots eine Analyse und Empfehlung, ob und wie das Unternehmen sein 3D-Druck-Vorhaben in die eigenen Produktionsabläufe integrieren kann. Firmen mit Sitz in Niedersachsen können sich fortlaufend auf der Webseite [www.niedersachsen-additiv.de](http://www.niedersachsen-additiv.de) bewerben. Vorhaben werden turnusmäßig zur Umsetzung ausgewählt.

Für geeignete Projekte klären die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Niedersachsen ADDITIV dann gemeinsam mit Fachleuten des Unternehmens – vor Ort oder Corona-Pandemie bedingt digital – die Voraussetzungen und geeignete Verfahren, Materialien und Anlagen. So kann es im Praxis-Check beispielweise darum gehen, welches 3D-Druck-Verfahren sich für die Herstellung von Bauteilen am besten eignet oder wie eine Bauteilgruppe durch 3D-Druck zu einem einzigen Bauteil zusammengefasst werden kann.

*Wissenschaftler des LZH untersuchen, welche Parameter die Bauteilqualität beeinflussen, zum Beispiel auf einer Sintratec S1-Anlage. (Foto: LZH)*







#### **Druck von Testbauteilen auf der Technischen Demonstrationsfläche**

Auf den Anlagen der Technischen Demonstrationsfläche im LZH führen die 3D-Druck-Expertinnen und -Experten von LZH und IPH je nach Vorhaben eine Machbarkeitsanalyse durch, drucken erste Testbauteile und prüfen mögliche Produktionsabläufe. Zum Abschluss des Praxis-Check 3D-Druck erhalten die Unternehmen eine Empfehlung zu den einzusetzenden Verfahren, zur Anschaffung eigener Anlagen oder zur möglichen Zusammenarbeit mit einem Dienstleister.

#### **Vielfältiges Veranstaltungsangebot**

Niedersachsen ADDITIV setzt auch in Phase 2 auf die bereits in Phase 1 bewährten Veranstaltungsformate. Veranstaltungen wie Branchentreffs und das jährliche Forum Additive Fertigung werden durch Veranstaltungen der Reihe Dialog on the Road in ganz Niedersachsen ergänzt. Niedersachsen ADDITIV bietet damit KMU eine gut erreichbare Möglichkeit, sich grundlegend und praxisorientiert über die Technologie und die Potenziale des 3D-Drucks zu informieren. Außerdem können die Unternehmen Kontakte zu anderen lokalen Unternehmen knüpfen oder ausbauen und so regionale Synergien im Ausbau vom 3D-Druck schaffen.

Niedersachsen ADDITIV wird bis 2023 jeweils einen Branchentreff für die Branchen Mobilität, Life Sciences/Medizintechnik, Agrar 4.0 sowie Maschinen- und Anlagenbau ausrichten. Auf diesen Veranstaltungen werden branchenrelevante 3D-Druckverfahren sowie die Verarbeitung relevanter Werkstoffe näher vorgestellt und die Trends in den Bereichen aufgegriffen.

Das Forum Additive Fertigung bringt einmal im Jahr Anwender, Interessierte und Wissenschaftlerinnen sowie Wissenschaftler Branchen- und Wissensstands-übergreifend zusammen. Dabei steht der Austausch über Best-Practice-Beispiele, neue Themen und Trends aus Forschung und Anwendung im Vordergrund. Darüber hinaus stehen hier der Austausch und die Vernetzung mit Technologie-Experten, möglichen Partnern und Dienstleistern im Fokus.

#### **Schulungen und Digitales Lernen**

Für den richtigen Einsatz des 3D-Drucks ist Fachwissen notwendig. Daher bietet Niedersachsen ADDITIV den KMU landesweit kostenlose Grundlagenschulungen an – als Digital- oder Präsenzveranstaltung. Geplant sind Schulungen zu Themen wie Vorrichtungsbau, Instandsetzung und Werkzeug- sowie Formenbau. Diese Themen wurden in der ersten Phase als besonders relevant für KMU identifiziert. Die Schulungen sind dabei sehr praxisorientiert angelegt.



Niedersachsen ADDITIV unterstützt niedersächsische KMU bei der Einführung und Weiterentwicklung des 3D-Drucks. (Foto: LZH)



Auf der Technischen Demonstrationsfläche im Versuchsfeld des LZH können Prozesse für KMU auf ihre Machbarkeit analysiert werden. (Foto: LZH)

Konkrete Problemstellungen aus den Betrieben werden aufgegriffen und diskutiert. Praktische Lehreinheiten und „Hands-on“-Schulungen ermöglichen, Wissen gleich anzuwenden und zu festigen. Unternehmensmitarbeiterinnen und -mitarbeiter, die komplett neu in das Thema einsteigen, erhalten ab Spätsommer 2021 Zugang zu Online-Lernmodulen. In diesen wird Fachwissen zu den Themen Konstruktion, Fertigungsprozesse, Post-Processing und Sicherheit sowie Gesundheits- und Umweltschutz vermittelt. Mit diesem Angebot ermöglicht Niedersachsen ADDITIV KMU orts- und zeitunabhängig einen ersten Einstieg in den 3D-Druck.

#### **www.niedersachsen-additiv.de als zentraler Infohub**

Auf der Homepage von Niedersachsen ADDITIV finden Unternehmen nicht nur Informationen zu den Angeboten, sondern auch aktuelle, werbefreie und herstellerunabhängige Informationen rund um das Thema 3D-Druck, zum Beispiel auch den in der ersten Phase entwickelten Anwenderleitfaden. Dieser beantwortet die 20 am häufigsten gestellten Fragen zum 3D-Druck und wird fortlaufend erweitert. Ebenso bietet die Webseite branchenspezifische Informationen zu 3D-Druckverfahren, geeigneten Materialien, aber auch Trends und Entwicklungen.

#### **Netzwerk Niedersachsen ADDITIV**

Das kostenfreie Netzwerk Niedersachsen ADDITIV (NNA) bringt niedersächsische Hersteller, Anwender, Dienstleister und zukünftige Anwender des 3D-Drucks zusammen. Netzwerkmitglieder haben durch die Teilnahme an Veranstaltungen und Vorabinformationen die Möglichkeit, Geschäftskontakte auszubauen und erhalten Zugang zu Kooperationen. Mitglied werden können niedersächsische Unternehmen mit Interesse am 3D-Druck.

#### **Neue Erkenntnisse zum 3D-Druck für niedersächsische Unternehmen**

Neben den konkreten Unterstützungsangeboten entwickeln die Projektpartner LZH und IPH bestehende Verfahren und technische Innovationen für den breiten Einsatz weiter. So sollen die Verfahren gerade für niedersächsische KMU wirtschaftlicher werden. Dafür nutzen die Partner unter anderem die Technische Demonstrationsfläche im Versuchsfeld des LZH. Der dortige Anlagenpark wurde insbesondere auf die Bedürfnisse und Anforderungen der KMU ausgebaut. An diesem untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von Niedersachsen ADDITIV beispielsweise, welche Parameter für die Qualität der 3D-gedruckten Bauteile wichtig sind und wie die KMU von den Erkenntnissen profitieren. Außerdem entwickeln sie die Prozesskontrolle weiter, setzen sich mit der Konstruktion additiv gefertigter Bauteile und dem Einsatz (neuer) Materialien auseinander und überlegen, wie die gesamte Prozesskette vom Material hin zur Auslieferung optimiert werden kann.

#### **Kontakt**

Niedersachsen ADDITIV  
Dr.-Ing. Sascha Kulas  
Tel.: +49 511 2788-200  
E-Mail: [info@niedersachsen-additiv.de](mailto:info@niedersachsen-additiv.de)  
Web: [www.niedersachsen-additiv.de](http://www.niedersachsen-additiv.de)

# DAS LZH – AUFBAU UND FAKTEN

## PROFIL

Licht für Innovation – als unabhängiges gemeinnütziges Forschungsinstitut für Photonik und Lasertechnologie steht das Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH) für innovative Forschung, Entwicklung und Beratung. Das LZH wurde 1986 gegründet mit dem Ziel, im Bereich der Lasertechnologie interdisziplinäre Forschung und Entwicklung zu betreiben, Forschung und Praxis zusammenzuführen und Fachkräfte industrienah auszubilden. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern und Ingenieurinnen und Ingenieuren ermöglicht dabei innovative Ansätze in verschiedenen Bereichen: von der Komponentenentwicklung für spezifische Lasersysteme bis hin zu Prozessentwicklungen für Laseranwendungen, zum Beispiel für die Medizintechnik oder den Leichtbau im Automobilsektor. Derzeit sind fast 200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am LZH beschäftigt. Gefördert wird das LZH durch das Niedersächsische Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung.

### Wissenschaftliches Netzwerk

Zentral für den Erfolg des LZH ist die enge regionale wissenschaftliche Vernetzung mit den niedersächsischen Universitäten und zahlreichen renommierten Einrichtungen: Beteiligungen an den Exzellenzclustern PhoenixD, QuantumFrontiers und Hearing4all sowie an diversen Sonderforschungsbereichen wie zum Beispiel „Tailored Forming“, „Sauerstofffreie Produktion“ und „Regeneration komplexer Investitionsgüter“ zeichnen das LZH aus. Weiterhin ist das LZH Partner im Hannoverschen Zentrum für Optische Tech-



### Im Fokus der angewandten Forschung des Instituts stehen die Themenfelder:

- Optische Komponenten und Systeme
- Optische Produktionstechnologien
- Biomedizinische Photonik

nologien (HOT), sowie des Clausthaler Zentrums für Materialtechnik der Technischen Universität Clausthal, fungiert beim HITec (Hannover Institut für Technologie) als Kooperationspartner der Leibniz Universität Hannover und ist in das disziplinübergreifende Laboratorium für Nano- und Quantenengineering (LNQE), in den Forschungsbau „SCALE – Skalierbare Produktionssysteme der Zukunft“ und das Niedersächsische Zentrum für Biomedizintechnik, Implantatforschung und Entwicklung (NIFE) integriert. Zusammen mit dem Institut für Integrierte Produktion Hannover unterstützt das LZH im Projekt „Niedersachsen ADDITIV“ seit 2017 niedersächsische Unternehmen dabei, den 3D-Druck einzuführen, umzusetzen und weiterzuentwickeln. Hervorzuheben ist zudem die erfolgreiche Zusammenarbeit mit dem Albert-Einstein-Institut im Bereich der Entwicklung von Lasersystemen für die Gravitationswellendetektion.

### Transfer in die Wirtschaft

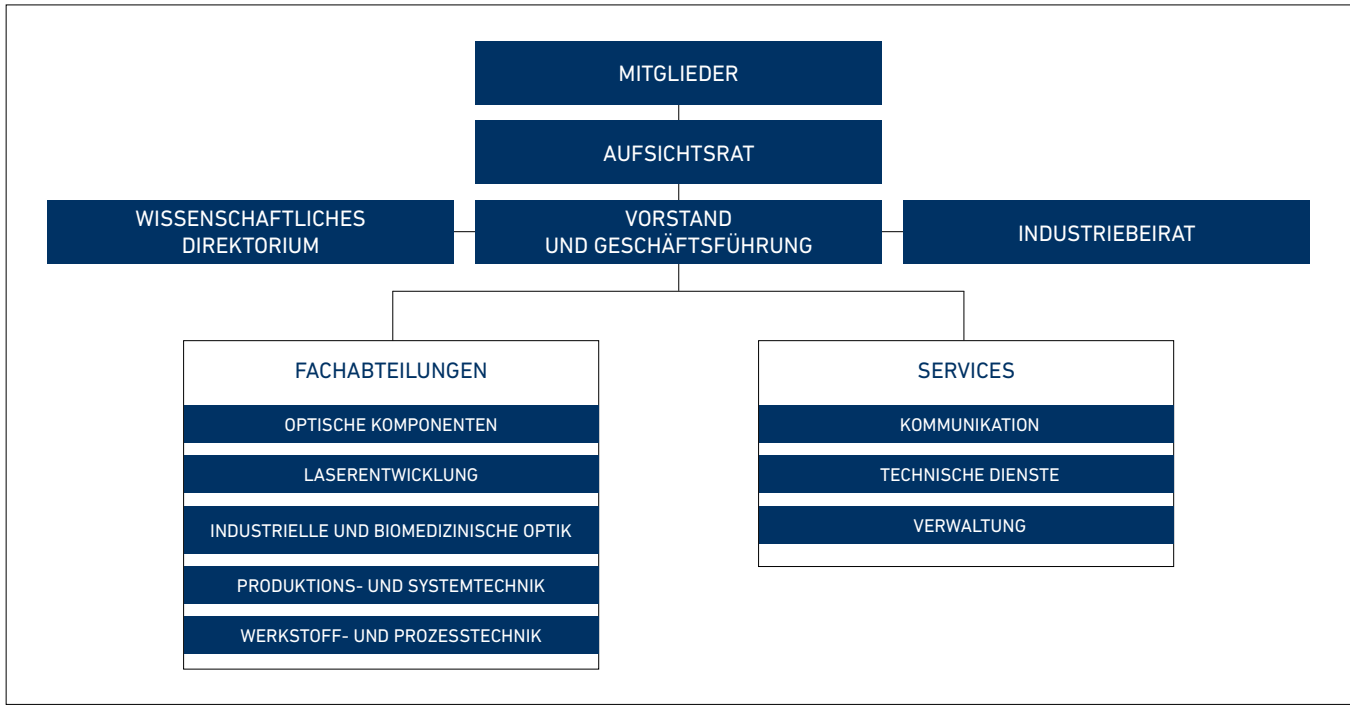
Das LZH schafft einen starken Transfer zwischen grundlagenorientierter Wissenschaft, anwendungsnahe Forschung und Industrie. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen profitieren vom Forschungsspektrum und Dienstleistungsangebot des LZH. In Verbundprojekten bekommen sie Zugang zu neuem technologischem Wissen, nationalen und internationalen Netzwerken sowie öffentlichen Fördermitteln. Mit den vom LZH angebotenen Dienstleistungen können die Betriebe fehlende F&E-Kapazitäten ausgleichen. Der Wissenstransfer beinhaltet auch die Vermittlung von klugen Köpfen in die Wirtschaft und andere Forschungseinrichtungen – so ist im Laufe der Zeit ein beachtliches Netzwerk entstanden. Bis heute sind 18 erfolgreiche Ausgründungen mit insgesamt etwa 500 Arbeitsplätzen aus dem Institut hervorgegangen.

### Nachwuchsförderung: Light for your future

Die Nachwuchsförderung des Instituts setzt bereits in der Schule an: Führungen für Schulklassen, Schulpraktika, die Beteiligung an der IdeenExpo und der alljährliche Zukunftstag geben Schülerinnen und Schülern frühzeitig einen Einblick in die spannende Arbeitswelt eines Forschungsinstituts. Danach ist der Einstieg am LZH sowohl über eine klassische Berufsausbildung als auch über ein Freiwilliges Wissenschaftliches Jahr, Studien- und Abschlussarbeiten sowie studentische Hilfskraftstellen und Praktika für Studierende möglich. In der beruflichen Erstausbildung kooperiert das LZH mit der örtlichen Berufsschule und vermittelt die Lasertechnologie auf diesem Weg auch den zukünftigen Mitarbeitern von kleinen und mittleren Unternehmen in der Region Hannover.

## ORGANISATION

### Organisationsstruktur



### Mitglieder

Im Berichtszeitraum hatte das LZH 81 Mitglieder aus Industrie sowie Hochschulen und Forschungseinrichtungen.

Die ordentliche Mitgliederversammlung fand satzungsgemäß am 13. November 2020 statt.



### Aufsichtsrat

Der Aufsichtsrat ist das Aufsichtsgremium des Vorstands und der Geschäftsführung. Er genehmigt die Schwerpunkte der Wissenschafts- und Forschungspolitik sowie die strategischen Tätigkeitsfelder des Vereins.

Seit dem 13. November 2020 gehören dem Aufsichtsrat folgende Mitglieder an:

#### **Dr.-Ing. Clemens Meyer-Kobbe**

Vorsitzender des Aufsichtsrats  
Inhaber der Firma MeKo Laserstrahl-Materialbearbeitungen e.K.

#### **Dr. jur. Niels Kämpny**

Stellvertretender Vorsitzender des Aufsichtsrats  
Abteilungsleiter „Industriepolitik und maritime Wirtschaft“ des Nds. Ministerium Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung

#### **Prof. Dr. jur. Volker Epping**

Präsident der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

#### **Michael Kiesewetter**

Vorstandsvorsitzender der Investitions- und Förderbank Niedersachsen NBank

## Vorstand

Der Vorstand ist gesetzlicher Vertreter des Vereins und leitet als geschäftsführendes Vereinsorgan die Geschäfte gemäß den Beschlüssen der Mitgliederversammlung und des Aufsichtsrats.

Der Vorstand setzt sich aus drei geschäftsführenden Vorstandsmitgliedern sowie den Vorsitzenden des Wissenschaftlichen Direktoriums und des Industriebeirats zusammen.

Der Geschäftsführende Vorstand besteht aus einem kaufmännischen und zwei wissenschaftlich-technischen Vorständen.

*2020 gehörten dem Vorstand folgende Mitglieder an:*

### Geschäftsführender Vorstand



**Dr. rer. nat. Dietmar Kracht**  
Laser Zentrum Hannover e.V.



**Dr.-Ing. Stefan Kaierle**  
Laser Zentrum Hannover e.V.



**Dipl.-Verw. (FH) Klaus Ulbrich**  
Laser Zentrum Hannover e.V.

### Vorsitzender Wissenschaftliches Direktorium



**Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer**  
Gottfried Wilhelm Leibniz  
Universität Hannover  
Institut für Transport- und  
Automatisierungstechnik

### Vorsitzender Industriebeirat



**Dr. rer. pol. Volker Schmidt**  
NiedersachsenMetall

## Wissenschaftliches Direktorium

Das Wissenschaftliche Direktorium berät den Vorstand in wissenschaftlichen und technischen Fragestellungen im Bereich Forschung und Entwicklung, ist an der Weiterentwicklung der wissenschaftlich-strategischen Ausrichtung des Laser Zentrum Hannover e.V. beteiligt und gewährleistet die Betreuung von Promotionen, Master- und Bachelorarbeiten.

*2020 gehörten dem Wissenschaftlichen Direktorium folgende Mitglieder an:*

**Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer**

Vorsitzender des Wissenschaftlichen Direktoriums  
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
Institut für Transport- und Automatisierungstechnik

**Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Ertmer**

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
Institut für Quantenoptik

**Prof. Dr. rer. nat. Alexander Heisterkamp**

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
Institut für Quantenoptik

**Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Kowalsky**

Technische Universität Braunschweig  
Institut für Hochfrequenztechnik

**Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer**

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
Institut für Produktentwicklung und Gerätebau

**Prof. Dr. rer. nat. Uwe Morgner**

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
Institut für Quantenoptik

**Prof. Dr. rer. nat. Detlev Ristau**

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
Hannover Institute of Technology

**Prof. Dr.-Ing. Volker Wesling**

Technische Universität Clausthal  
Institut für Schweißtechnik und Trennende  
Fertigungsverfahren

## Industriebeirat

Der Industriebeirat unterstützt den Vorstand in technischen, wirtschaftlichen und wirtschaftspolitischen Fragestellungen und stärkt den Technologietransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft.

*2020 gehörten dem Industriebeirat folgende Mitglieder an:*

**Dr. rer. pol. Volker Schmidt**

Vorsitzender des Industriebeirats  
Hauptgeschäftsführer NiedersachsenMetall, Hannover

**Dr.-Ing. Joachim Balbach**

Geschäftsführer  
LaserProdukt GmbH, Alfeld

**Dr. rer. nat. Reinhard Baumfalk**

Vice President R&D  
Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG, Göttingen

**Dr.-Ing. Rüdiger Brockmann**

Geschäftsführer Technik und Vertrieb  
ZELTWANGER Holding GmbH, Tübingen

**Dr. Wolfgang Ebert**

Geschäftsführer  
Laseroptik GmbH, Garbsen

**Dr.-Ing. Martin Goede**

Leitung Produktion der Zukunft und Fabrikkonzepte  
Volkswagen AG, Wolfsburg

**Dr.-Ing. Friedhelm Kappei**

Leiter Industrial Engineering  
MTU Maintenance Hannover GmbH, Hannover

**Dr. rer. nat. Michael Kempe**

Corporate Research and Technology  
Carl Zeiss AG, Oberkochen

**Dr. rer. nat. Frank Korte**

Geschäftsführer  
Micon GmbH, Hannover

**Volker Krause**

Geschäftsführer  
Laserline GmbH, Mühlheim-Kärlich

**Dr.-Ing. Benedikt Ritterbach**

Geschäftsführer  
Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Salzgitter

## Fachabteilungen

<b>Optische Komponenten</b> Dr. Lars Jensen	<b>Laser-entwicklung</b> Dr. Jörg Neumann	<b>Industrielle und Biomedizinische Optik</b> Dr. Tammo Ripken	<b>Produktions- und Systemtechnik</b> Dr.-Ing. Peter Jäschke	<b>Werkstoff- und Prozesstechnik</b> Dr.-Ing. Jörg Hermsdorf
<b>Photonische Materialien</b> Dr. Marco Jupé	<b>Ultrafast Photonics</b> Dr. Andreas Wienke	<b>Biophotonik</b> Dr. Sonja Johannsmeier	<b>Glas</b> Katharina Rettschlag	<b>Fügen und Trennen von Metallen</b> Sarah Nothdurft
<b>Smarte Optische Instrumente</b> Florian Carstens	<b>Faseroptik</b> Felix Wellmann	<b>Food and Farming</b> PD Dr. Merve Wollweber	<b>Verbundwerkstoffe</b> Verena Wippo	<b>Maschinen und Steuerungen</b> Marius Lammers
<b>Optische Schichten</b> Tammo Böntgen	<b>Solid-State Lasers</b> Dr. Peter Weißels		<b>Laser-Mikrobearbeitung</b> Jürgen Koch	<b>Unterwassertechnik</b> Dr.-Ing. Benjamin Emde
<b>Optik Integration</b> N.N.	<b>Optische Systeme</b> Dr. Moritz Hinkelmann		<b>Additive Fertigung – Polymere und Multimaterialien</b> Dr.-Ing. Gerrit Hohenhoff	<b>Additive Fertigung – Metalle</b> Dr.-Ing. Christian Hoff
				<b>Sicherheitstechnik</b> Dr. Michael Hustedt

## Abteilungsleitungen



**Optische Komponenten**  
Dr. rer. nat. Lars Jensen



**Laserentwicklung**  
Dr. rer. nat. Jörg Neumann



**Industrielle und Biomedizinische Optik**  
Dr. rer. nat. Tammo Ripken



**Produktions- und Systemtechnik**  
Dr.-Ing. Peter Jäschke



**Werkstoff- und Prozesstechnik**  
Dr.-Ing. Jörg Hermsdorf



**Kommunikation**  
Dipl.-Biol. Lena Bennefeld



**Technische Dienste**  
Dipl.-Ing. Frank Otte



**Verwaltung**  
Dipl.-Bw. (FH) Dirk Wiesinger

## DAS LZH IN ZAHLEN

Die wirtschaftliche Entwicklung des Laser Zentrum Hannover e.V. im Jahr 2020 wird anhand der nachfolgenden Ergebnisrechnung aufgezeigt.

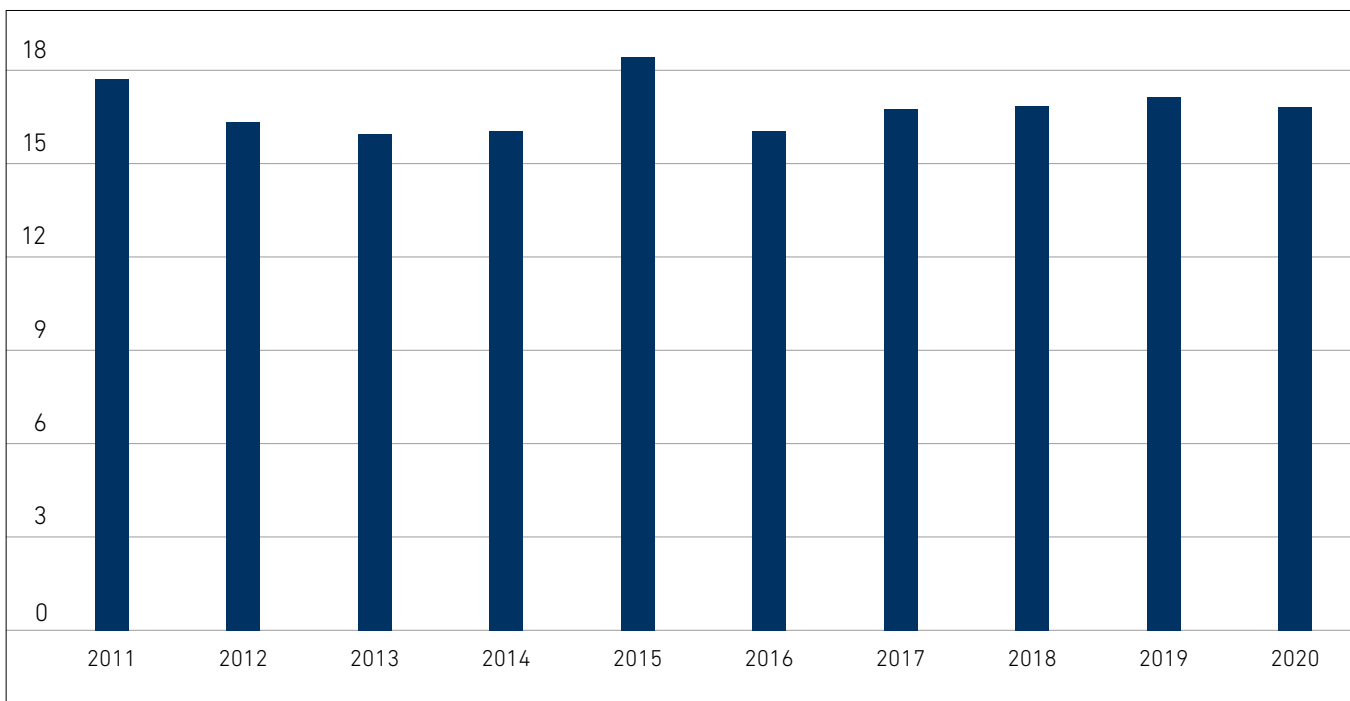
Die betriebliche Leistung betrug im Jahr 2020 Mio. € 16,733 (Vorjahr: Mio. € 17,094). Diese beinhaltet den Umsatz aus den Projekterträgen durch die Industrie, Land, Bund, EU und Sonstige in Höhe von Mio. € 12,573 (Vorjahr: Mio. € 12,894) sowie die Grundfinanzierung durch das Land Niedersachsen in Höhe von Mio. € 4,200 (Vorjahr: Mio. € 4,200).

Die Eigenfinanzierungsquote lag bei 75 % (Vorjahr: 75 %).

Die Aufwendungen für Investitionen betragen insgesamt Mio. € 1,483 (Vorjahr: Mio. € 1,804). Der Anteil der Investitionen an den Gesamtaufwendungen betrug im Geschäftsjahr 2020 9 % (Vorjahr: 10 %).

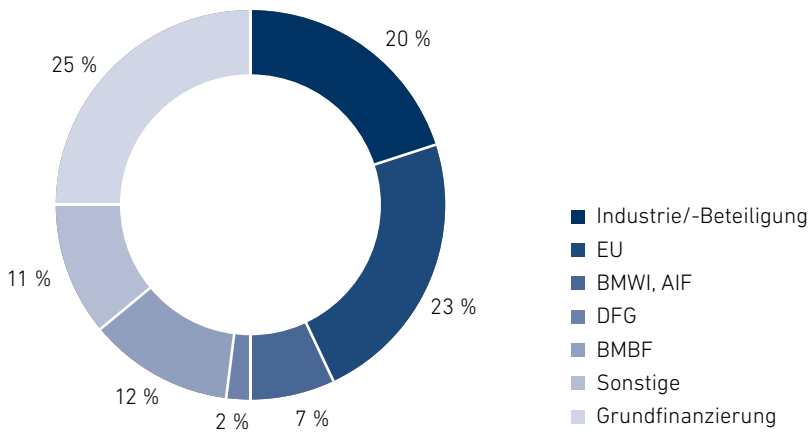
Im Jahr 2020 wurden am LZH 109 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben bearbeitet. Es kamen 28 neue Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in 2020 zur Bewilligung (siehe „Gliederung der Einnahmen“).

### Umsatzentwicklung 2011 – 2020 (in Mio. €)

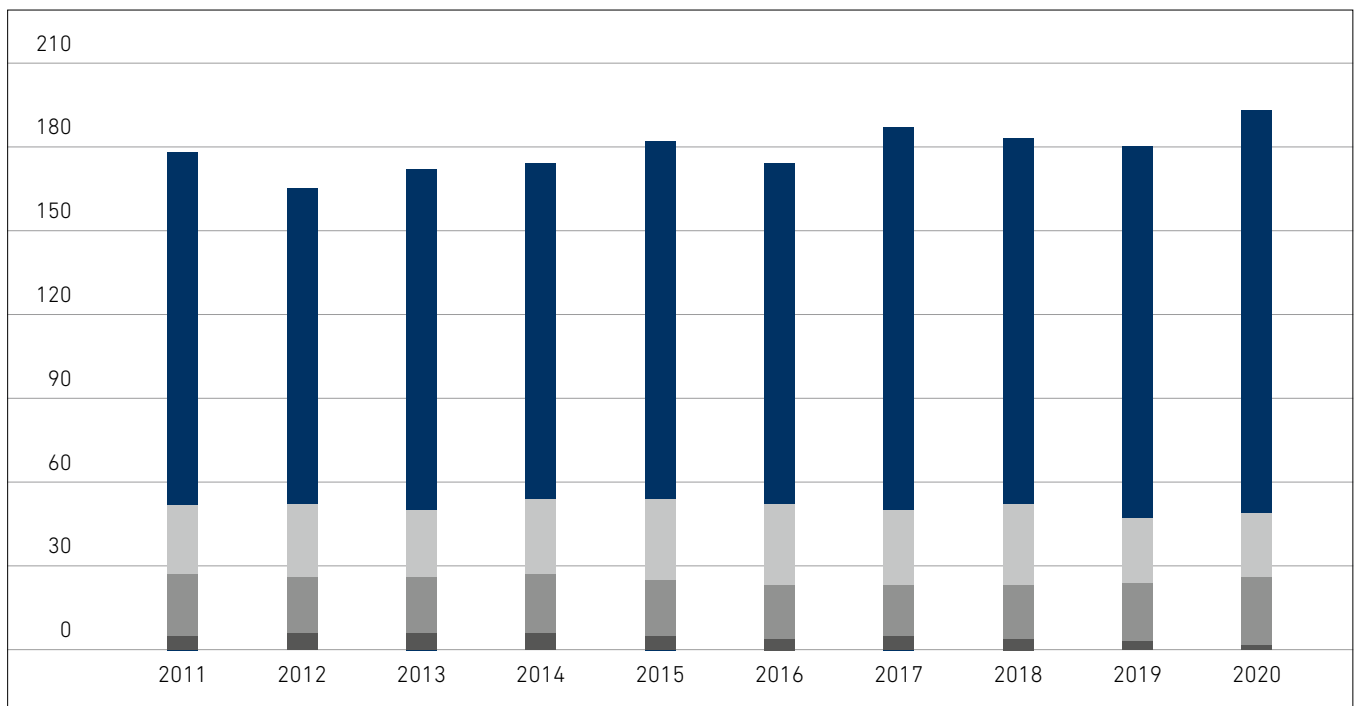




### Gliederung der Einnahmen 2020



### Personalentwicklung 2010 – 2020



■ Wissenschaftliches Personal inkl. Gastwissenschaftler/-innen    
 ■ Technisches Personal    
 ■ Auszubildende  
■ Administration

# FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

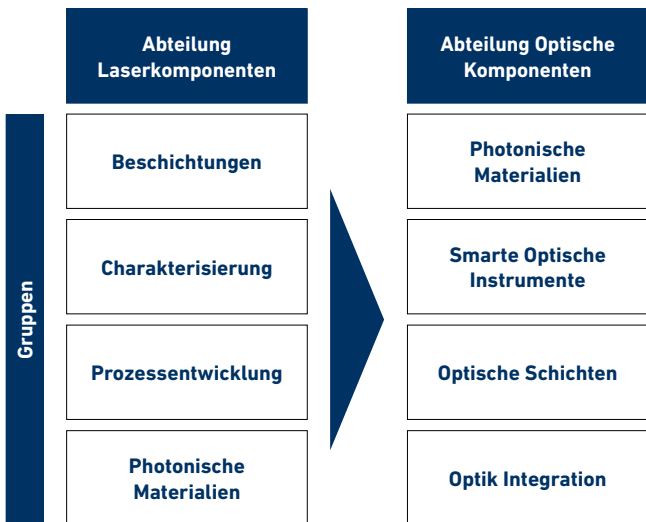
## ABTEILUNG OPTISCHE KOMPONENTEN

**Im Fokus der Abteilung:**

- Dünnschichtsysteme für Laser, Satelliten und Teleskope
- Modellbildung und Simulation zur Entwicklung von komplexen Beschichtungen und Schichtsystemen
- Messtechnik und Optikanalyse
- Sensorik für Beschichtungsprozesse und Einbettung in eine Photonik-4.0-Umgebung

**Abteilung Laserkomponenten wird zu Optische Komponenten**

Eine verstärkte Digitalisierung und ein erhöhter Bedarf an integrierten, komplexen optischen Funktionen sind die Zukunftsthemen im Bereich der optischen Komponenten. Um diesen Themen und Anforderungen gerechter zu werden, richtet sich die Abteilung Laserkomponenten zum Jahr 2021 als Abteilung Optische Komponenten mit einer angepassten Gruppeneinstellung neu aus. Im Fokus stehen dabei neue Konzepte, um optische Funktionen zu integrieren, digital zu entwickeln und zu produzieren sowie Materialien für zukünftige Anwendungen zu gestalten.



**Optische Komponenten für Morgen und Übermorgen**

Ein neuer Trend ist die Miniaturisierung und Integration von optischen Elementen. Dieser Thematik geht die Abteilung schon länger nach, sowohl im Exzellenzcluster PhoenixD als auch im Bündnis Polyphotonics Berlin. Dabei ist das vorrangige Ziel, möglichst viel Funktion in einer Schicht unterzubringen. Dies würde ermöglichen, die Teile in denen die optischen Komponenten verbaut sind, sowohl kleiner zu bauen als auch in neue spektrale Auflösungsbereiche vorzustoßen. Naheliegend ist der Einsatz für Anwendungen wie die Tele- und

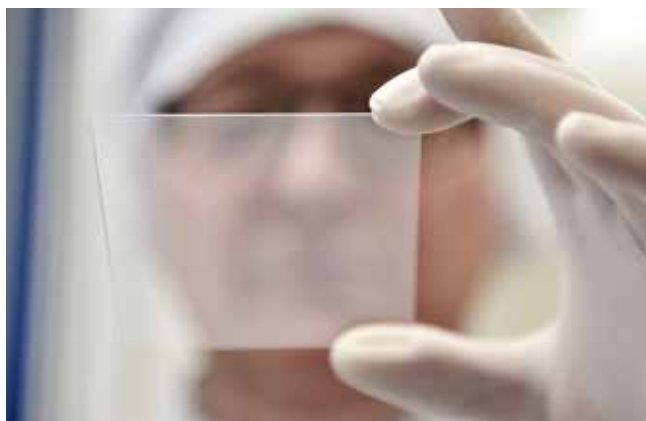
Datenkommunikation. Mit der Übertragung auf andere Bereiche beschäftigt sich die Abteilung im Exzellenzcluster PhoenixD. In dessen Rahmen arbeitete die **Gruppe Prozessentwicklung** und zukünftig die **Gruppe Optik Integration** in einem multidisziplinären Team eng mit Ingenieuren, Materialwissenschaftlern und Chemikern der vier beteiligten Institutionen zusammen. Sie untersuchen zurzeit, wie sie die komplexen Eigenschaften optischer Systeme auf neuartige Systeme übertragen können. Dafür etablieren sie eine produktionstechnische Zusammenarbeit.

Ein Ansatz im Rahmen des Exzellenzclusters ist es, neue Materialien für optische Komponenten zu erschließen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler setzen dafür unter anderem auf Halbleiter und transparente Metalloxide mit hohen nichtlinearen Eigenschaften. Diese sollen es ermöglichen, mit weniger Intensität als üblicherweise nötig, nichtlineare Effekte zu erzielen. Die **Gruppe Photonische Materialien** setzte dafür auch softwarebasierte Lösungen ein, um die Dynamik der Moleküle zu simulieren. Die Arbeiten im Exzellenzcluster werden zukünftig in den **Gruppen Optik Integration** und **Photonische Materialien** fortgeführt.

Die grundlegenden spektralen Eigenschaften optischer Beschichtungen müssen für zukünftige Anforderungen deutlich genauer vermessen werden als dies mit aktuellen Instrumenten am Markt



Selbst bei digitalen Prozessen ist die Qualitätskontrolle ein zentraler Bestandteil der Entwicklung. (Foto: LZH)

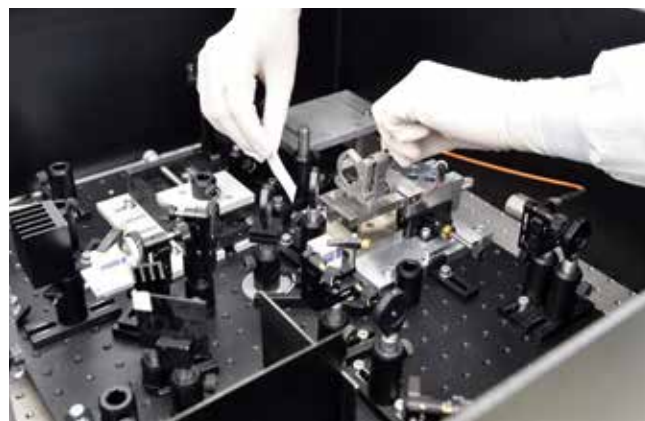


Funktionalisierter Wafer während der Inspektion. (Foto: LZH)

möglich ist. Die etablierten Spektralphotometer sind für andere Branchen ausgelegt und werden den stetig steigenden Ansprüchen zukünftiger Anwendungen nicht mehr gerecht. Daher arbeitete die **Gruppe Charakterisierung** in einem neuen Projekt zusammen mit Firmen aus dem Bereich der Dünnschichttechnologie in Deutschland an einem neuen, maßgeschneiderten Messsystem für optische Schichten. Diese Arbeiten werden von der **Gruppe Smarte Optische Instrumente** fortgeführt.

Beschichtungsprozesse sind in aller Regel langwierig, maschinell aufwendig und somit teuer. Fehler im Prozess sind daher besonders fatal. Mit einer Online-Prozesskontrolle können im laufenden Prozess Fehler frühzeitig entdeckt und durch Rückkopplung mit dem Beschichtungsprozess ausgeglichen werden. Im letzten Jahr hat die **Gruppe Prozessentwicklung** die Online-Prozesskontrolle für phasenkompensierende Spiegel, sogenannte Chirped Mirrors, weiterentwickelt. Dazu haben die Forschenden auf Basis des Breitbandmonitors BBM und prozessbegleitender Daten einen optimierten Phasensensor für Spiegel entwickelt. Die weitere Optimierung übernimmt die neue **Gruppe Smarte Optische Instrumente**.

Um die Lebensdauer von Laseroptiken im Weltraum zu erhöhen, beschäftigten sich die **Gruppen Beschichtung** und **Charakterisierung** außerdem damit, wie Schichtdefekte bereits im Beschichtungsprozess vermieden werden. In einer Studie zur Technologieentwicklung für die ESA konnten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Zerstörschwelle von Optiken für den ultravioletten Bereich verdoppeln. Dafür setzen sie zwei Methoden ein: Bei dem einen Ansatz scannen sie während des laufenden Prozesses mit Hilfe eines Lasers die Oberfläche und entfernen dann mit diesem die Defekte aus der wachsenden Schicht. Bei dem anderen Ansatz nutzen sie eine Ionenquelle, um die Partikel durch ein Ätzverfahren zu entfernen. Diese Arbeiten übernimmt die **Gruppe Optische Schichten** und wird auch zukünftig als verlässlicher Partner für Entwickler im Bereich Laser, Astronomie, Beleuchtung und Weltraum zur Verfügung stehen.



Die Vermessung phasenkompensierender Spiegel. (Foto: LZH)

Die Arbeiten zur Vernetzung, Digitalisierung und der Photonik 4.0 wird zukünftig die **Gruppe Smarte Optische Instrumente** weiterführen. Sie wird sich damit beschäftigen, welche Sensoren, welche Prozesskontrolle und welche Software nötig sind, um die Vernetzung von Produktionsprozessen, Messtechnik und Produktionskontrolle zu ermöglichen.

#### **Uniforme Beschichtung für hohe Produktivität**

Im Projekt INSITHOR arbeitet die **Gruppe Smarte Optische Instrumente** außerdem daran, die Produktivität von Beschichtungsprozessen hoher Komplexität zu erhöhen, indem große Optiken und viele kleine Teile gleichzeitig vergütet werden. Die Herausforderung ist dabei, die Schichtdicke über die große Beschichtungsfläche genau gleich aufzutragen. Zusammen mit Partnern aus kleinen und mittleren Unternehmen entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler flexible Uniformitätsblenden. Mit diesen wollen sie Schwankungen in driftenden Prozessen flexibel ausgleichen.

Die **Gruppe Charakterisierung** setzte sich auch 2020 mit neuen Messkonzepten für die hohen Präzisionsanforderungen zukünftiger Optiken auseinander. Dabei beschäftigte sie sich unter anderem mit der Qualifizierung von Weltraum-Optiken und -Laserkomponenten. Aktuell steht hier im Vordergrund, wie sich die Methodik für Messungen von Laserzerstörungsschwellen auf Dauerstrich-Hochleistungslaser im Multikilowattbereich übertragen lässt. Um die Messtechnik zukünftig noch individueller und passgenauer an Anwendungen und Projekten auszurichten, wird diese Kompetenz verteilt und so direkt in die neuen Gruppen integriert.

#### **Rekord: Optiken für Laserwellenlängen unter 170 nm**

Die **Gruppen Prozessentwicklung** und **Beschichtungen** konnten 2020 zusammen erstmalig Resonatorspiegel für eine Laserwellenlänge unterhalb von 170 Nanometer herstellen. Dies ist den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in einem Forschungsauftrag der Duke University, USA, für deren Freie-Elektronen-Laser (FEL) gelungen. Insbesondere für Oszillator-basierte FELs im Vakuum-UV-Spektralbereich ist dies eine große Herausforderung. Bisher lag der – ebenfalls vom LZH aufgestellte – Rekord bei 174 Nanometern.



Versuchsoptik zur Erzeugung der „Dritten Harmonischen“ in Schichtsystemen.  
(Foto: LZH)

Diese Forschungslaser mit sehr kurzen Wellenlängen sind in der Lage, intensive Gammastrahlung zu erzeugen und werden in der Material-, Kern- und Beschleunigungsphysik eingesetzt.

Für die Teleskope, die in der Sentinel 4 Mission für die Erdbeobachtung eingesetzt werden, hat die **Gruppe Beschichtungen** in einem Unterauftrag die Flugoptiken beschichtet, qualifiziert und ausgeliefert. Eingesetzt werden sollen die entspiegelten, zum Teil asphärischen Linsen, um die Luftqualität anhand von bestimmten Gasen und Aerosolen über Europa zu messen. Die dafür benötigte breitbandige Entspiegelung ist sehr komplex und in Verbindung mit dem zu beschichtenden Trägermaterial sehr aufwendig. In enger Zusammenarbeit mit den Instrumentenentwicklern konnte diese Aufgabe von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Gruppe erfolgreich beendet werden.

Des Weiteren arbeitete die **Gruppe Charakterisierung** und zukünftig die **Gruppe Optische Schichten** mit der Abteilung Laserentwicklung im EU-Projekt GALACTIC-Projekt daran, Alexandrit-Laserkristalle für den Weltraum zu qualifizieren. Dafür wollen sie etablierte hochsensitive Messmethoden auf die Wellenlänge der Alexandrit-Kristalle übertragen.

#### **Nichtlineare Materialeigenschaften nutzen**

Mit der Ausnutzung nichtlinearer Materialeigenschaften beschäftigt sich die **Gruppe Photonische Materialien**. Auch im letzten Jahr hat sie sich mit dem Schalten von Licht in optischen Schichten mit Gesamtdicken weniger Mikrometer auseinandergesetzt. Bei diesen optischen Schaltern können Eigenschaften optischer Schichten mittels Licht geschaltet werden. Beispielsweise ist damit das Umstellen einer Optik zwischen Reflexion und Transmission möglich. Die Gruppe arbeitet dabei daran, die Schaltschwellen kontinuierlich herabzusetzen. In einem 2020 abgeschlossenen Projekt konnte die Gruppe die Frequenzkonversion in Spiegelschichten integrieren. So konnten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit einer Effizienz von zwei Prozent direkt die Dritte Harmonische erzeugen. Normalerweise sind dafür zwei Teilprozesse beziehungsweise zwei Kristalle notwendig. Gelungen ist dies über eine dielektrische Schicht ohne zusätzliche Komponenten.

## IM FOKUS DER GRUPPEN

### ABTEILUNG OPTISCHE KOMPONENTEN

#### **Gruppe Photonische Materialien**

- Simulation und Modellierung von Schichtwachstumsprozessen
- Überführung von nichtlinearen Prozessen der Optik in Schichtsysteme, z.B. Frequenzkonversion oder optische Schalter
- Erforschung innovativer Schichtmaterialien für die Optik
- Erforschung von Quanten- und Struktureffekten zur Materialentwicklung für die Optik

#### **Gruppe Smarte Optische Instrumente**

- In-situ-Prozesskontrolle, vollautomatisierter optischer Breitbandmonitor BBM
- Entwicklung von Software und Sensorik für die Etablierung einer Photonik-4.0-Prozesskette
- Digitalisierte Design- und Prozessentwicklung
- Messgeräte für eine prozesskettenorientierte Qualitätskontrolle

#### **Gruppe Optische Schichten**

- Entwicklungspartner für dielektrische Funktionsschichten in der Photonik, Astronomie und für den Weltraum
- Innovative Schichtdesigns für Hochleistungsanwendungen
- Vergütung und Funktionsbewertung von optischen Komponenten
- Messtechnik und Qualifizierung von optischen Komponenten und Beschichtungen (u.a. laserinduzierte Zerstörung und hochpräzise Bestimmung optischer Verluste auch für die Luft- und Raumfahrt)
- Schichtdefektanalyse bis in den Nanometer-Bereich

#### **Gruppe Optik Integration**

- Miniaturisierung komplexer Optikkomponenten
- Flexible Übertragung optischer Funktion in integrierte optische Systeme
- Atomic-Layer-Deposition für die Photonik

#### **Abteilungsleiter**

Dr. Lars Jensen  
Tel.: +49 511 2788-257, E-Mail: ljensen@lzh.de

## ABTEILUNG LASERENTWICKLUNG

### Im Fokus der Abteilung:

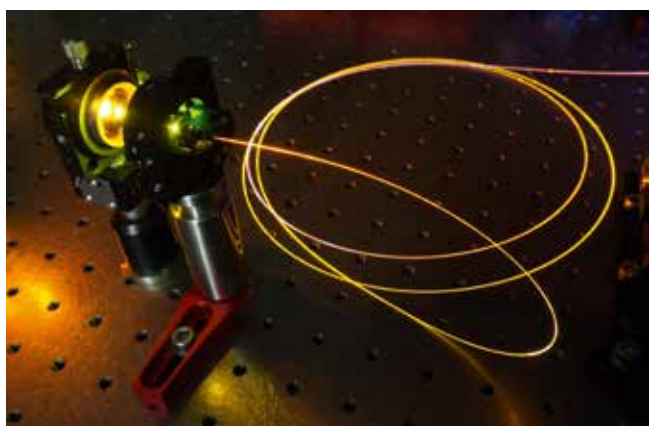
- Entwicklung von diodengepumpten Festkörper- und Faserlasern
- Robuste und zuverlässige Strahlquellen beispielsweise für den Weltraum, die Tiefsee und zur Detektion von Gravitationswellen
- Optische Fasern und Faserkomponenten
- Generative Fertigung integrierter optischer Systeme

### Entwicklung entlang der gesamten Fertigungskette

Von Faserkomponenten über die Entwicklung integrierter optischer Systeme bis hin zu kompletten diodengepumpten Festkörper- und Faserlasern – die Abteilung Laserentwicklung entwickelt Komponenten für Strahlquellen sowie komplette Lasersysteme.

Spezielle Laser werden beispielsweise in den Lebenswissenschaften benötigt, etwa für eine Vielzahl von hochauflösenden Mikroskopie-Techniken. Die Kombination verschiedener Bildgebungstechniken in einem Gerät ist zwar naheliegend, führt in der Realität aber zu einem sperrigen, teuren System, denn jede Bildgebungsart erfordert unterschiedliche Laserspezifikationen. Die **Gruppe Ultrafast Photonics** arbeitet nun im EU-Projekt CARMEN zusammen mit einem Forschungs- und mehreren Industriepartnern aus Belgien und Deutschland an einem System, das drei Bildgebungsarten in einem kleinen System vereint. Dafür entwickelt die Gruppe eine neuartige, faserbasierte Ultrakurzpulsquelle. Sie soll Pulse gleichzeitig sowohl im Femto- als auch im Pikosekundenbereich erzeugen und durchstimmbare Wellenlängen ausgeben können. Damit wären Untersuchungen von Gewebeproben direkt im Operationssaal möglich.

Um die Weiterentwicklung von Mikroskopie-Methoden geht es ebenso im Projekt Multi-Hero. Dafür arbeitet die Gruppe an Lasersystemen für die nicht-degenerative Zwei-Photonen-Mikroskopie. Bei diesem



In nichtlinearen optischen Prozessen mit Femtosekundenpulsen  $< 100$  fs können in speziellen Glasfasern neue Wellenlängen erzeugt werden, die wichtig für die Biophotonik sind. (Foto: LZH)

neuen Ansatz sollen zwei Photonen bei unterschiedlichen Wellenlängen die Moleküle in der Probe anregen. Damit würde es möglich, mittels Bildgebung tiefer in biologisches Gewebe einzudringen.

### Systeme bei zwei Mikrometer Wellenlänge

Femtosekunden (fs)-Laser mit einer Ausgangswellenlänge von einem Mikrometer sind in der Industrie bereits etabliert, beispielsweise für die Mikrobearbeitung von Metallen und Keramiken. Um die Einsatzgebiete von fs-Lasern auszuweiten, arbeitet die **Gruppe Ultrafast Photonics** zusammen mit einem Unternehmen an einem innovativen und kompakten 2- $\mu$ m-fs-Faserlasersystem. Bei dieser Wellenlänge ist beispielsweise Silizium für den Laser transparent, so dass die Bearbeitung im Volumen ermöglicht wird.

Um kurze Pulse mit hoher Pulsenergie direkt aus dem Oszillator zu generieren, arbeitet die Gruppe außerdem an Mamyshev-Oszillatoren. Mit solchen Oszillatoren können Pulse von unter 100 Femtosekunden bei mehr als einem Mikrojoule Pulsenergie erreicht werden. Dieses Jahr ist es den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern gelungen, das Prinzip erstmalig auch bei einer Wellenlänge von zwei Mikrometern bei niedrigen Energien zu demonstrieren.

An Faserkomponenten für den Einsatz bei zwei Mikrometer Wellenlänge arbeitet zurzeit die **Gruppe Faseroptik**. Im Projekt POFILASE entwickeln sie diese für einen polarisierten 80-Watt-Demonstrator. Diese Faserkomponenten vom LZH will der Projektpartner für ein zu entwickelndes polarisiertes 350-Watt-System einsetzen.

Zusammen mit der Abteilung Produktions- und Systemtechnik arbeitet die Gruppe weiterhin an Faserarrays. Diese sollen für eine Strahlformung eingesetzt werden. Der dazugehörige Bearbeitungskopf enthält neun einzeln ansteuerbare, in einem Array zusammengeführte fasergekoppelte Laserquellen. Mit diesen wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler variable Strahlprofile für das Kunststoffschweißen erzeugen.



Die Viskosität wird zur Verarbeitung der Glasfaser mittels Wasserstoffflamme eingestellt. (Foto: LZH)

An der Automatisierung der Faserkomponentenherstellung arbeitete die Gruppe auch dieses Jahr zusammen mit der LZH-Ausgründung FiberBridge GmbH weiter. Mit einer CO<sub>2</sub>-Laser-basierter automatisierten Fertigungskette wollen sie den Variantenreichtum von Faserkomponenten erhöhen, um diese für viele verschiedene Spezialfasern fertigen können. Ziel ist dabei auch, eine höhere Qualität zu erreichen und die Produktion reproduzierbarer zu machen.

#### **Laser und Komponenten für die Gravitationswellendetektion**

Laser für die Gravitationswellendetektion müssen höchsten Ansprüchen genügen, sie müssen einfrequenz und dabei hochstabil sein. In der zweiten Generation waren die Laser noch kristallbasiert, für die dritte Generation werden nun faserbasierte Lasersysteme entwickelt. Diese sind deutlich kompakter, einfacher handhabbar und zuverlässiger. Der Engineering Prototyp für die dritte Generation der Gravitationswellendetektoren geht nun in die Serienproduktion. Der von der **Gruppe Solid-State Lasers** entwickelte Laser hat eine Ausgangsleistung von 200 Watt und emittiert bei einem Mikrometer. Dem Team ist es außerdem gelungen, zwei dieser Laser kohärent zu koppeln, um so eine Ausgangsleistung von 400 Watt zu erreichen. Die Gruppe arbeitet nun daran, die Leistung weiter zu skalieren.

2020 ist es der Gruppe gelungen, erstmals Faserkomponenten für 3C®-Fasern zu entwickeln. Diese Fasern enthalten einen großen und mehrere kleinere Satellitenkerne. Eingesetzt werden sie für die Leistungsskalierung in Faserverstärkern für die Gravitationswellendetektion. Diese Fasern sind besonders interessant, da sie die Schwelle für nichtlineare Effekte heraufsetzen und so eine gute Strahlqualität bei höherer Ausgangsleistung von über 300 Watt gewährleisten. Im Gegensatz zu anderen Ansätzen lassen sich diese Fasern sehr gut in monolithische Systeme integrieren.

An neuartigen Faserkomponenten arbeitet die Gruppe außerdem im Exzellenzcluster QuantumFrontiers. Hierfür forschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ebenfalls an Faserverstärkern für die Gravitationswellendetektion. Für die Herstellung dieser speziellen Faserkomponenten haben sie 2020 eine eigene Anlage zusammengestellt.

Außerdem führen sie grundlegende Untersuchungen zu Kristallverstärkern durch. Bei den Arbeiten zur Gravitationswellendetektion arbeitet die Gruppe eng mit dem Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut) zusammen.

#### **MOONRISE: Laser für den 3D-Druck auf dem Mond**

Mit Experimenten an einem Mondrover konnten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gegen Ende des Jahres das Projekt MOONRISE erfolgreich abschließen. Der Vision, Mondstaub direkt auf dem Erdtrabant zu Baumaterial, Straßen und Landeflächen 3D zu drucken, sind sie damit ein Stück näher gekommen. Highlight des letzten Jahres war es, synthetisches Regolith im Einstein-Elevator des Hannover Institut of Technology der Leibniz Universität Hannover unter Schwerelosigkeit und unter Mondgravitation zu



*Der Laser Engineering Prototyp für die dritte Generation von Gravitationswellendetektoren. (Foto: LZH)*

Kugeln aufzuschmelzen. Das Projekt MOONRISE war dabei das erste wissenschaftliche Experiment im Ende 2019 eingeweihten Elevator. Die **Gruppe Solid State Lasers** hatte diesen Laser von der Größe einer Saftpackung als Payload für eine zukünftige Mondmission zusammen mit den Abteilungen Werkstoff- und Prozesstechnik sowie Produktions- und Systemtechnik entwickelt. Das Engineering-Modell hat 2020 erfolgreich Schüttel- und Thermal-Vakuum-Tests durchlaufen. Angebracht auf dem Robotorarm eines Rovers des Projektpartners konnten sie damit als Projektabschluss zusammenhängende Linien aus Regolith „drucken“.

#### **LIBS-Laser für Weltraum und Tiefsee**

Um Wasser auf dem Mond aufzuspüren, arbeitet die Gruppe weiterhin im Projekt LUVMI-X an einem Laserdemonstrator. Auf Basis der Spektroskopie-Methode LIBS soll der Laser zukünftig eingesetzt werden, um Bodenproben zu analysieren. Die Gruppe arbeitet dafür sowohl an einem System für Vorabtests als auch an einem Konzept für ein Fluginstrument.

Im Projekt ROBUST ist der von der Gruppe entwickelte LIBS-Laser erfolgreich für Tests bei bis zu 500 bar Wasserdruck eingesetzt worden, was einer Wassertiefe von 5.000 Metern entspricht. Das gemeinsam mit der Abteilung Werkstoff- und Prozesstechnik bearbeitete Projekt endete Anfang des Jahres mit einer Forschungsfahrt im Pazifik. Genutzt werden könnte der Laser zukünftig, um Bodenschätze auf dem Meeresgrund zu detektieren, ohne dort in den Lebensraum einzugreifen.

Der für das MOMA-Projekt entwickelte LIBS-Laser sollte sich ursprünglich 2020 auf den Weg zum Mars begeben, der Start der ExoMars Mission wurde aber auf 2022 verschoben.

### Kristalle für Weltraum und UV-C

Den europäischen Markt für Laserkristalle unabhängig von globalen Lieferketten zu machen, daran arbeiten die Partner im vom LZH-koordinierten EU-Projekt GALACTIC. Dabei setzen sie auf die Zucht von Alexandrit-Kristallen. Bei diesen ist im Gegensatz zu den herkömmlich eingesetzten Nd:YAG-Kristallen die emittierte Wellenlänge durchstimmbar, sie sind bruchfester und haben eine bessere thermische Leitfähigkeit. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des LZH bauen dafür zwei Laser-Demonstratoren auf, mit denen sie gezüchtete Kristalle unter anderem auf Weltraumtauglichkeit testen können.

An der Haltbarkeit von Kristallen arbeitet die **Gruppe Solid State Lasers** außerdem in dem Projekt ECnex. Denn gerade im kurzwelligen UV-C-Bereich haben die zur Frequenzkonversion eingesetzten Kristalle nur eine sehr geringe Lebensdauer. Die Forschenden untersuchen daher auch die effiziente Erzeugung von Laserlicht im UV-C-Bereich unterhalb von 280 nm. Um die Herstellung von Seedern für Ultrakurzpuls-Laser einfacher, robuster und kostengünstiger zu machen, forscht die **Gruppe Solid State Lasers** im Projekt GAUSS außerdem an einem kleinen halbleiterbasierten Laser, der Pikosekundenpulse ausgibt. Die Gruppe will dafür das Prinzip der Gewinn-schaltung nutzen. Im Rahmen einer Studie für die Europäische Weltraumorganisation ESA entwickelt die Gruppe zudem einen Laserverstärker im Bereich zwischen 1000 nm und 1100 nm, der in Zukunft für eine laserbasierte Kommunikation im All eingesetzt werden könnte.

### Optische Systeme aus dem 3D-Drucker

Optische Systeme aus dem 3D-Drucker werden völlig neue Ansätze in der Laserentwicklung und Optikindustrie liefern. Im Projekt GROTESK entwickelt die **Gruppe Optische Systeme**, zusammen mit Partnern von drei niedersächsischen Hochschulen, 3D-gedruckte optische Systeme. Basierend auf den Vorteilen der Additiven Fertigung wollen sie mehrere Funktionen wie die spannungsfreie Optikhalterung und optimierte Kühlkanäle in einer quasi-monolithischen Optomechanik integrieren. Neben dem Design dieser multifunktionalen Bauteile beschäftigt sich das LZH vor allem mit der Auslegung und Charakterisierung optischer Eigenschaften. Langfristiges Ziel ist dabei, das Potenzial generativer Fertigungsverfahren zu heben und den Weg hin zu integrierten optischen Systemen zu ebnen. So wollen sie die Grundlage legen für eine völlig neue Herangehensweise an den Aufbau optischer Systeme, weg von klassischen Optiken in konventionellen Haltern hin zu Multimaterial-Systemen, die auf kleinstem Raum alles Nötige für einen optischen Aufbau vereinen. Das ist auch das Ziel der Arbeiten im Exzellenzcluster PhoenixD, in welchem die Gruppe in diesem Jahr an gedruckten Netzwerken von glasbasierten Lichtwellenleitern forschte.

Im Projekt LAPOF konnte die Gruppe erfolgreich Faserlaser auf Polymerbasis entwickeln. Diese sind im Vergleich zu Fasern aus Glas kostengünstiger herzustellen. Des Weiteren nutzt die Gruppe das Prinzip der Spektroskopie für ein Nanothermometer. Die Intensität

der Spektrallinie der in der Polymerfaser eingebetteten Nanopartikel ändert sich mit der Temperatur. So können sie stromlos und ohne elektromagnetisches Störpotential von den ausgegebenen Spektrallinien auf die Temperatur in der Faser schließen.

Das Graduiertenprogramm „Tailored Light“ wurde dieses Jahr abgeschlossen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler führten grundlegende Untersuchungen zur Umwandlung von blauem Laserlicht zu weißem Licht aus. Einsatz finden könnte dies beispielsweise in hocheffizienten und intelligenten Autoscheinwerfern. Dazu entwickelten sie in einem Multi-Physics-Ansatz ein Simulationsmodell, das strahlenoptische und thermische Effekte beschreibt.

## IM FOKUS DER GRUPPEN

### ABTEILUNG LASERENTWICKLUNG

#### Gruppe Ultrafast Photonics

- Ultrakurzpuls-Faseroszillatoren und -verstärker im Wellenlängenbereich von 1 bis 2  $\mu\text{m}$
- Ultrakurzpuls-Verstärker im Wellenlängenbereich um 1  $\mu\text{m}$  bis 2  $\mu\text{m}$
- Nichtlineare Frequenzkonversion zur Erzeugung ultrakurzer Laserpulse mit über 3  $\mu\text{m}$  Wellenlänge

#### Gruppe Faseroptik

- Effiziente, robuste und kostengünstige Faserlaser und Faserverstärkersysteme
- Entwicklung und Herstellung von Faserkomponenten

#### Gruppe Solid-State Lasers

- Robuste Lasersysteme für Untersuchungen im Weltraum und in der Tiefsee
- Laser für industrielle Anwendungen
- Diodengepumpte Festkörperlaser mit Frequenzkonversion
- Weltraumrelevante Umwelttests
- Entwicklung von Lasersystemen zur erdgebundenen und weltraumbasierten Gravitationswellendetektion

#### Gruppe Optische Systeme

- Generative Fertigung optischer Systeme
- Polymerbasierte Lasersysteme
- Laserbasierte Beleuchtungstechnik

#### Abteilungsleiter

Dr. Jörg Neumann

Tel.: +49 511 2788-210, E-Mail: j.neumann@lzh.de

## ABTEILUNG INDUSTRIELLE UND BIOMEDIZINISCHE OPTIK

### Im Fokus der Abteilung:

- Photonische Systemlösungen für Medizin und Biotechnologie
- Systemische und letale Lichtwirkung auf Pflanzen
- Laser und Photonik in Pflanzenschutz und Lebensmitteltechnik
- Bildgebung, Rekonstruktion und Einsatz maschinellen Lernens zur Bildanalyse für optische Online-Kontrollen, Qualitätssicherungen und Feature-Erkennung

### Licht-Gewebe-Wechselwirkung im Fokus

Die Wechselwirkung von Licht mit biologischen Materialien und die Weiterentwicklung von Bildgebung stehen im Mittelpunkt der Abteilung Industrielle und Biomedizinische Optik. Dabei reichen die Anwendungsgebiete von den klassischen Gebieten Biologie und Medizin bis hin zur Agrartechnik, Lebensmittelproduktion und -verarbeitung.

### Herbizide und Resistenzen vermeiden

Laserbasierte Methoden für den Pflanzenschutz können nicht nur die Menge eingesetzter Herbizide senken. Dieser Ansatz könnte auch ein wichtiger Schritt sein, um durch gezielteren Einsatz

Herbizid-Resistenzen zu vermeiden. Grundlegendes Prinzip der laserbasierten Unkrautbekämpfung ist dabei: Das Wuchszentrum der unerwünschten Pflanze wird mit Laserstrahlung soweit beschädigt, dass diese entweder langsamer wächst oder komplett eingeht. Die **Gruppe Food and Farming** erprobt seit diesem Jahr im Forschungsvorhaben LURUU zusammen mit zwei Landwirten aus der Region Hannover sowie Partnern des Landes Niedersachsen das laserbasierte Verfahren auf seine Praxistauglichkeit. Dabei stehen Ungräser wie Ackerfuchsschwanz und Windhalm im Vordergrund. Im Gegensatz zu Unkräutern ist bei diesen das Wuchszentrum schwieriger zu verorten. Eine möglichst genaue Erkennung der Pflanzen und ihres Aufbaus wollen die Partner mit Hilfe einer Kamera und einer Objekterkennungssoftware erreichen. In Zukunft könnten automatisierte Systeme mit Laser, Kamera und Software ausgerüstet werden und in verschiedenen Anwendungsumgebungen zum Einsatz kommen.

Im 2020 gestarteten EU-Projekt WeLASER arbeitet die Gruppe mit internationalen Forschungsinstituten, Unternehmen und Organisationen aus dem Agrarbereich daran, die laserbasierte Unkrautbekämpfung weiter voranzutreiben. Primäres Ziel ist: auf einer komplett autonomen Plattform eine mehrreihige Laseranwendung zu etablieren. Damit wollen die Partner die konzeptionellen Voraussetzungen legen, um eine hohe Flächenleistung zu erreichen. Dies ist die Grundvoraussetzung, um die laserbasierte Unkrautbekämpfung



Wissenschaftler des LZH wollen die Unkrautbekämpfung mit dem Laser auch auf Getreideflächen bringen. (Foto: LZH)



als Standardmethode in der Landwirtschaft zu etablieren. Dabei stehen auch die Arbeitssicherheit der Landwirte und Maschinenführer im Vordergrund. Daher arbeitet die **Gruppe Food and Farming** bei der Entwicklung eng mit der Gruppe Sicherheitstechnik der Abteilung Werkstoff- und Prozesstechnik zusammen.

### Lichtfallen gegen Schädlinge

Das Prinzip der physikalischen Schädigung durch Laserstrahlung lässt sich auch auf tierische Schädlinge ausweiten. Im Projekt LichtFalle beschäftigen sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Gruppe damit, wie Licht eingesetzt werden kann, um unerwünschten Insektenbefall in Gewächshäusern Herr zu werden. Dafür bauen sie Fallen für die Schädlinge, damit diese dann – für Menschen lasersicher – geschädigt werden. Auch hier wird mithilfe von Kamerasystemen und Bilderkennungsalgorithmen zwischen Nützlingen und Schädlingen unterschieden. Diese notwendige Unterscheidung ermöglicht gleichzeitig noch eine sogenannte Bonitur, also eine Art Inventur, über den Insektenbestand im Gewächshaus.

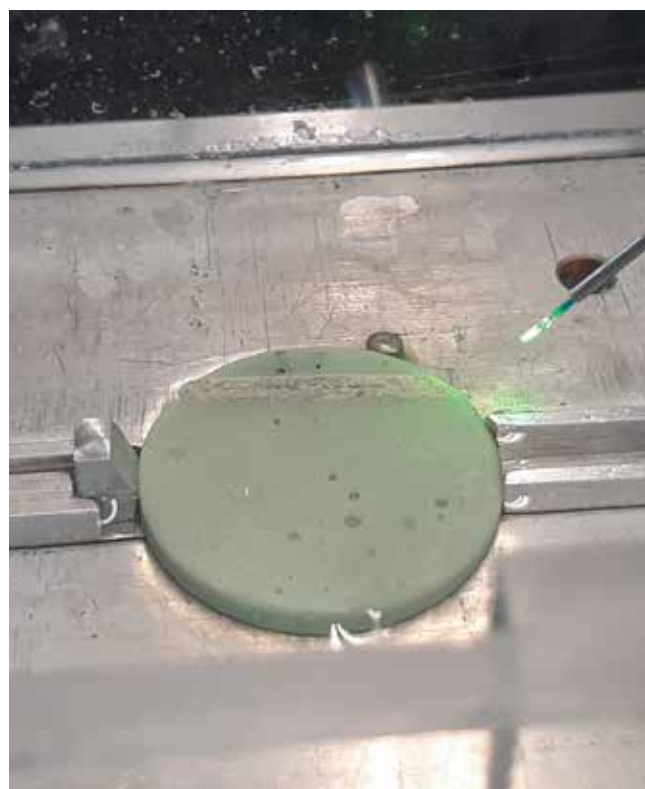
### Licht statt Antibiotika

Laser können nicht nur im Pflanzenbau neue Wege ermöglichen, sondern beispielsweise auch in der Fleischproduktion den Einsatz von Antibiotika reduzieren. Im Projekt ODLAB arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Gruppe an einer Laserbehandlung im ultravioletten (UV-) Bereich von Fleischprodukten. Die UV-Bestrahlung soll mit Bakterien verunreinigte Schlachtkörper oder Fleischstücke desinfizieren. Um möglichst alle Stellen zu erreichen, wollen die Partner des Forschungsprojekts die Technologie mit dem Einsatz einer speziellen Bakteriophagen-Lösung kombinieren. Die auf das Bakterium *Campylobacter* spezialisierten Phagen zerstören gezielt die Bakterienzellen auf dem Fleisch. Für die **Gruppe Food and Farming** stehen Wirksamkeit und Umsetzbarkeit der laserbasierten Methode im Vordergrund. Im Labormaßstab entwickeln sie nun Testbedingungen, prüfen die Auswirkung auf verschiedene pathogene Erreger und testen Nachweisgrenzen. Wichtig dabei ist: Die Qualität des Fleisches darf durch die Dekontamination nicht beeinträchtigt werden. Gemeinsam mit den weiteren Projektpartnern wollen sie einen Prototypen entwickeln, der den Realbedingungen in den fleischverarbeitenden Betrieben gerecht wird.

### Schonenderer Tausch von Hüftprothesen:

#### Laserabtrag von Knochenzement

Hüftprothesen haben zwar eine lange Verweildauer im Körper, doch bei den steigenden Lebenserwartungen kommt es immer häufiger zu sogenannten Revisionsoperationen, bei denen die Prothese getauscht wird. Vorab muss jedoch der alte Knochenzement, der die Prothese im Knochen gehalten hat, abgetragen werden – eine für Patient und Arzt unangenehme und zeitaufwendige Prozedur. Die **Gruppe Biophotonik** entwickelt seit diesem Jahr im Projekt LaZE zusammen mit Partnern aus Industrie und Medizin ein Endoskop, mit dem Knochenzement mit Hilfe eines Lasers abgetragen werden kann. Um dem Operateur eine gute Sicht im Knochen zu ermöglichen,



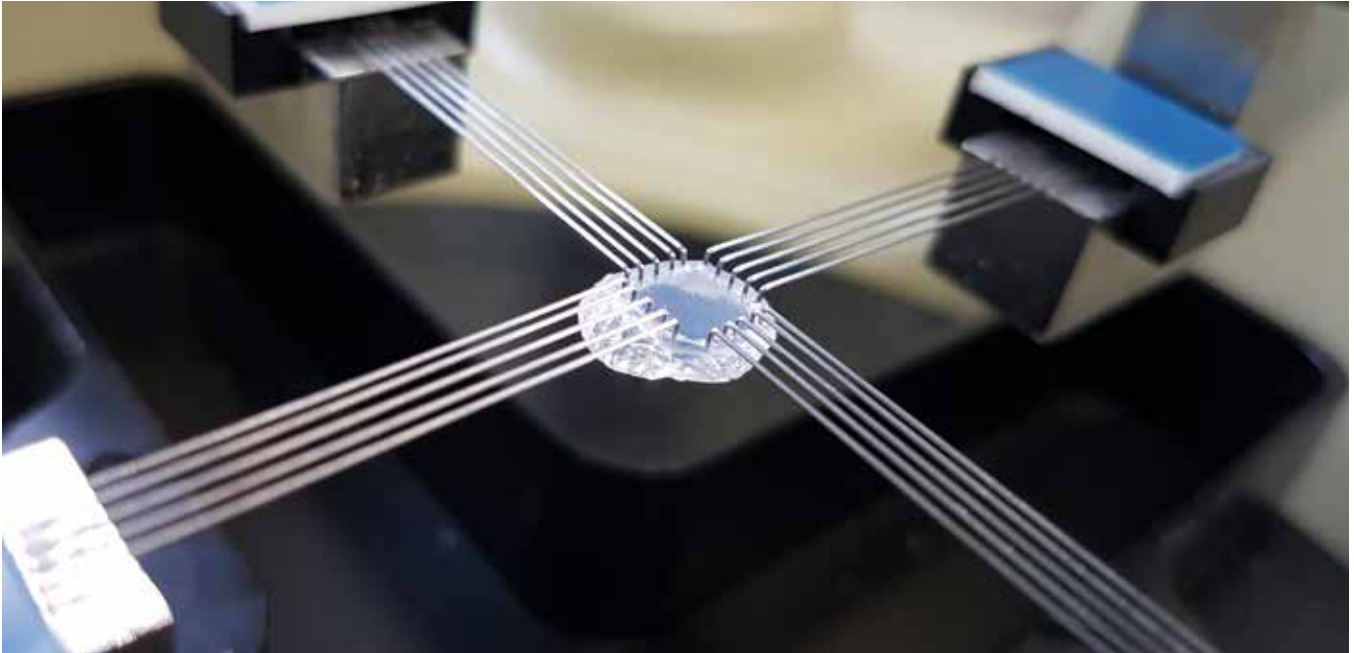
Erste Tests zum effizienten Laserabtrag von Knochenzement. (Foto: LZH)

soll durch das Endoskop außerdem eine Kamera geführt werden. Dabei wird durch eine gezielte, chromatisch abgestimmte Beleuchtung ein höherer Kontrast zwischen Knochen und Knochenzement erreicht. Die Gruppe wird im Rahmen des Projekts die spektroskopische Analyse des gealterten Knochenzements, den Laserabtragprozess sowie einen klinischen Demonstrator entwickeln. Langfristiges Ziel ist es, die Operationsdauer zu verringern und den Eingriff für die Patienten schonender und sicherer zu machen.

### Femtosekundenlaser gegen Glaskörpertrübungen

Um die Behandlungsmöglichkeiten von Glaskörpertrübungen, sogenannten Mouches volantes oder Floatern, zu verbessern, forscht die Gruppe außerdem am Einsatz von Femtosekunden (fs)-Lasern im und am Auge. Bisher gibt es keine vollends überzeugende Lösung für das alterungsbedingte Problem im hinteren Augenbereich. Eingesetzt werden zurzeit etwa gepulste Laser, die der Augenarzt manuell steuert. Die Idee im Projekt XFloater ist es, einen fs-Laser einzusetzen, um die ins Auge eingebrachte Energiemenge noch weiter zu reduzieren und den Einsatz so sicherer zu machen. Zusätzlich werden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des LZH die Optische Kohärenztomographie (OCT) weiterentwickeln, um die Lage der Glaskörpertrübungen im Auge besser darstellen zu können.

Die Gruppe arbeitet außerdem daran, besser zu verstehen, wie die vorbereitende Riboflavinaufnahme im Auge vor der laserbasierten Keratokonusbehandlung, dem sogenannten Cornea Cross-linking (CXL), abläuft. Zusätzlich evaluiert sie mit internationalen



*Für die Erfolgskontrolle der lasergestützten Keratokonusbehandlung, dem sogenannten Cornea Crosslinking, wird die Biomechanik einer Probe vermessen. (Foto: LZH)*

industriellen Partnern den Einsatz eines Ultrakurzpulslasers zur Verbesserung dieser Behandlungsmethode. Ziel ist es dabei, die durch die Erkrankung biomechanisch zu elastische Hornhaut des Auges nicht mehr großflächig mittels UV-Licht, sondern punktgenau und patientenindividuell mit schonenderen nahinfraroten fs-Laserpulsen zu vernetzen.

#### **Unkomplizierter Einstieg in die Optogenetik**

Um Forschenden im komplexen Feld der Optogenetik einen einfacheren Einstieg in die Technologie zu ermöglichen, entwickelt die Gruppe Biophotonik zusammen mit niedersächsischer Industrie ein Starter-Kit. Dies soll alle notwendigen Komponenten enthalten: von Zellmodellen, über Farbstoffe, genetische Vektoren und optische Elemente bis hin zu einer anwenderfreundlichen Software als Ergänzung für labor-übliche Mikroskope. Dieses Kit soll zellbiologischen Forschern die idealen Voraussetzungen bieten, um in die eigentliche Forschung in diesem Feld einzusteigen. Die Optogenetik ermöglicht, Zellen und deren Funktionen über Lichtimpulse gezielt zu steuern und bietet damit viele Einsatzmöglichkeiten in den Lebenswissenschaften.

Die Gruppe arbeitet darüber hinaus daran, die Qualität von Zellclustern mit Hilfe von 3D-Tomographie zu kontrollieren. Hierdurch sollen in Zukunft Mehrzellsysteme in der Entwicklung von Medikamenten verlässlich und unter kontrollierten Bedingungen eingesetzt werden können.

## IM FOKUS DER GRUPPEN

### **ABTEILUNG INDUSTRIELLE UND BIOMEDIZINISCHE OPTIK**

#### **Gruppe Biophotonik**

- Hochdurchsatz-Zelltransfektion
- Lasergestützte ophthalmologische Therapiemethoden
- Laseroptische Cochlea-Stimulation
- Optogenetik
- (Endoskopische) Bildgebung mit Optischer Kohärenztomographie (OCT)
- 3D/4D-Lasermesstechnik für biomedizinische Anwendungen

#### **Gruppe Food and Farming**

- Laserstrahlapplikationen zum nachhaltigen Pflanzenschutz
- Lebensmittelprodukt- und -produktionssicherheit
- Industrielle 3D-Lasermesstechnik für technische Anwendungen
- Lasergestützte Bildgebung und Bildverarbeitung
- Anwenden von maschinellem Lernen zur Bildverarbeitung und Feature-Erkennung

#### **Abteilungsleiter**

Dr. Tammo Ripken

Tel.: +49 511 2788-228, E-Mail: t.ripken@lzh.de

## ABTEILUNG PRODUKTIONS- UND SYSTEMTECHNIK

### Im Fokus der Abteilung:

- Lasermaterialbearbeitungsprozesse für die industrielle Produktion von morgen: vom Leichtbau über die Elektronikfertigung und Glasbearbeitung bis hin zur Medizintechnik
- Überwachung und Regelung von Bearbeitungsprozessen: Qualitätssicherung als Schlüssel zur Wirtschaftlichkeit

### Neue Prozesse und Systemtechniken

Die Entwicklung von neuen Prozessen und zugehöriger Systemtechnik für die Laserbearbeitung von Kunststoffen, Gläsern und vielen weiteren Materialien steht im Fokus der Abteilung Produktions- und Systemtechnik. Eng verknüpft sind damit Techniken zur Systemüberwachung, -steuerung und -regelung, die den gesteigerten Anforderungen neuer und bestehender Prozesse gerecht werden.

### Lasermikrostrukturierung für verbesserte gedruckte Wellenleiter

Optische Wellenleiter ermöglichen eine schnelle und weitgehend störungsfreie Übertragung großer Datenmengen. In der Forschergruppe Optische Aufbau- und Verbindungstechnik für baugruppenintegrierte Bussysteme (OPTAVER) entwickeln die Partner auf 3D-Druck basierende Verfahren zur Herstellung optischer Wellenleiter. Die **Gruppe Laser-Mikrobearbeitung** arbeitet im Teilprojekt „Konditionierung“ daran, Flexodruckformen zu funktionalisieren. Durch den gezielten Auftrag von Konditionierungslinien sollen die im zweiten Schritt aufgetragenen Wellenleiter zu einem noch besseren optischen Eigenschaften erzielen. Zum anderen wird daran gearbeitet, das Umformverhalten zu verbessern, um so dreidimensionale Strukturen erzeugen zu können. Für eine exakte

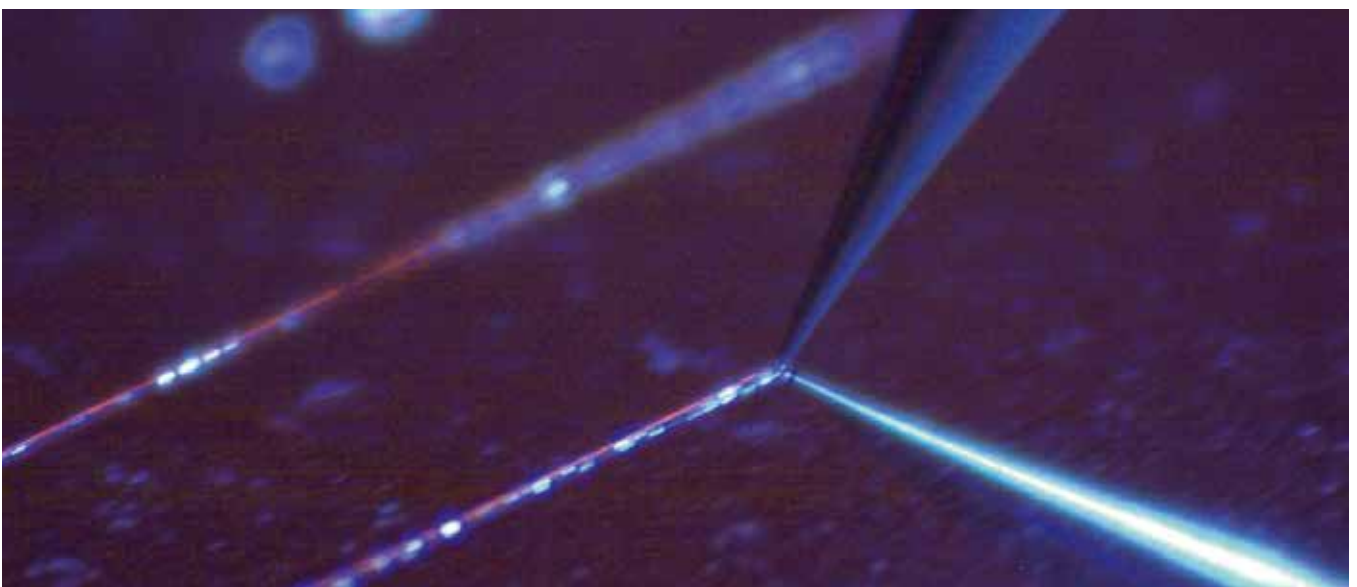
Positionierung dieser Konditionierungslinien entwickeln sie einen laserbasierten Mikrostrukturierungsprozess. Dieser erzeugt Oberflächenstrukturen, die das Benetzungsverhalten der Druckformen im Druckprozess den lokalen Anforderungen entsprechend anpassen. Damit ist es gelungen, die Geometrie der aufgetragenen Konditionierungslinien und der Wellenleiter deutlich zu verbessern. Weiterhin wird untersucht, inwiefern es möglich ist, durch Mikrobearbeitung der Druckform Singlemode-Wellenleiter und optische Netzwerke herzustellen.

### Laseroberflächenfunktionalisierung für Massenprodukte

Die Laserfunktionalisierung von Oberflächen steht ebenfalls im Fokus des Projektes Funktionalisierte Spritzgussbauteile. Hier arbeitet die **Gruppe Laser-Mikrobearbeitung** zusammen mit einem niedersächsischen KMU daran, kleinste Strukturen in die Oberflächen der damit hergestellten Bauteile abzuformen. Diese werden mittels Laserabtrag in Spritzgusswerkzeuge eingebracht. Benetzbarkeit, Haptik, tribologische und optische Eigenschaften der gegossenen Bauteile lassen sich somit anwendungsspezifisch einstellen. Die Technik kommt wirtschaftlich für zahlreiche Anwendungen infrage, da der Laserprozess nur einmal für die Spritzgussform anfällt, aber der Produktwert des Massenprodukts durch die Oberflächenfunktionalisierung deutlich gesteigert werden kann. Im Projekt getestet werden unter anderem stochastisch im Laserprozess entstehende Strukturen zur Verwendung als Plagiatschutz sowie Oberflächenstrukturen, die die Adhäsion biologischer Zellen gezielt steuern.

### MOONRISE: Elektronik für den Einsatz auf dem Mond

Im Projekt MOONRISE haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des LZH daran gearbeitet, den 3D-Druck auf den Mond zu bringen. Die **Gruppe Laser-Mikrobearbeitung** hat dafür die Steuerungselektronik aus „Commercial-of-the-Shelf“ (CotS)-Komponenten



Druck von Leiterbahnen im Mikrometer-Maßstab mittels Mikro-Dispensiersystemen. (Foto: LZH)

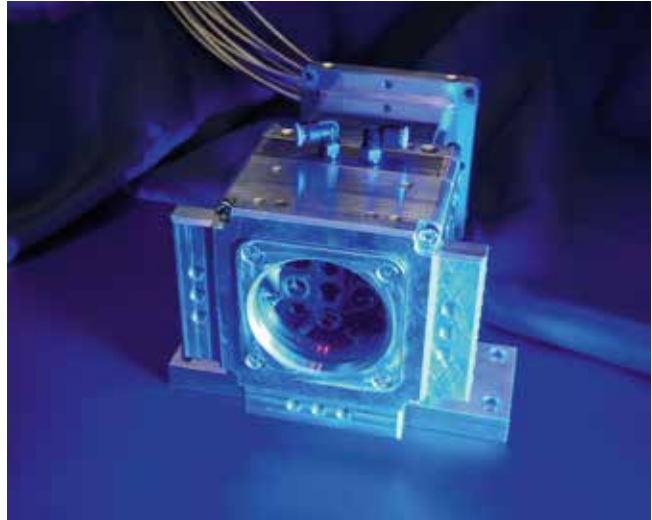


Im Laser Glass Deposition Prozess (LGD) additiv gefertigte Quarzglas-Sanduhr. (Foto: LZH)

entwickelt. Diese können bei den Temperaturen eines Mondtages, die zwischen  $-40^{\circ}\text{C}$  und  $+125^{\circ}\text{C}$  liegen, problemlos operieren. Außerdem trotzen sie den Vibrationen bei Start und Landung. Die Vision ist dabei, mit dem Laser Mondstaub zu Bausteinen oder Landeplätzen aufzuschmelzen. Die Gruppe hat für das Projekt eng mit den beteiligten Gruppen der Abteilungen Laserentwicklung und Werkstoff- und Prozesstechnik zusammengearbeitet.

### Additive Fertigung von Glas – nun auch Fertigung von Kugellinsen möglich

Die Additive Fertigung von Glas gewinnt stetig an Bedeutung. Die **Gruppe Glas** arbeitet an einem faserbasierten Auftragschweißprozess. Inzwischen können unterschiedliche Faserdicken erfolgreich eingesetzt werden, wodurch verschiedenste Anwendungen möglich werden. Interessant ist das Verfahren zum Beispiel für komplexe Apparaturen und Anwendungen, bei denen eine hohe chemische Beständigkeit notwendig ist, sowie für den Aufbau individueller optischer Systeme. Die Gruppe entwickelt die notwendige Prozess- und Handhabungstechnik kontinuierlich weiter. Im letzten Jahr hat sie sich unter anderem im Rahmen des Projektes GROTESK mit der Herstellung von Glaskugellinsen auseinandergesetzt. Diese sind aufgrund hoher Anforderungen, wie einer homogenen Geometrie in der Herstellung, besonders herausfordernd in der Umsetzung. Ziel ist es, eine gleichmäßige Kugel mit definiertem Radius und homogenem Materialvolumen herzustellen, die nicht nachbearbeitet werden muss. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erweichen für diese Herstellung ein Glasfilament mithilfe eines  $\text{CO}_2$ -Lasers. Für die Analyse der gefertigten Komponenten arbeitet die Gruppe eng mit der Abteilung Laserentwicklung zusammen. Zusätzlich zu kleinen optischen Bauteilen fertigen die Forschenden mit dem Verfahren auch größere Volumenbauteile aus Glas, zum Beispiel im Rahmen des Projekts FlexPro. Bauteile aus bis zu 100 einzelnen Schichten können sie so inzwischen erfolgreich fertigen – und sie wollen noch deutlich höher hinaus.



MultiSpot-Optik für das Laserdurchstrahlschweißen von komplexen Bauteilen. (Foto: LZH)

Weiterhin beschäftigt sich die Gruppe mit Sicherheitsmarkierungen auf Gläsern. Mit Pulsen im Pikosekundenbereich können sie Beugungsstrukturen auf Glasoberflächen einbringen. Dies ist ihnen innerhalb des Projekts GLaSiDeE für Borosilikat- und Kalk-Natrongläser gelungen, für die dieses Vorgehen der Markierung zum ersten Mal gezeigt wurde. Wichtig war, bei der Entwicklung Pikosekunden-Ultrakurzpuls-Laser einzusetzen, um den Prozess im Vergleich zu aufwendigeren Systemen erschwinglich zu gestalten.

### 3D-Druck für Metall-Kunststoffverbindungen

Bauteile und Gebrauchsgüter bestehen häufig aus mehr als nur einem Material. Eine spannende Entwicklung in der Additiven Fertigung ist daher der Multimaterialdruck. Im Projekt Niedersachsen ADDITIV hat die **Gruppe Additive Fertigung – Polymere und Multi-materialien** untersucht, wie Kunststoff an Metallbauteile gedruckt werden kann. Das Metallteil wurde durch Selektives Laserschmelzen hergestellt und gezielt mit Oberflächenstrukturen versehen, um eine gute Anhaftung des Kunststoffteils zu gewährleisten. Dieses wurde anschließend mit dem Verfahren des Filamentdrucks (eng.: Fused Deposition Modelling, FDM) aufgetragen.

### Leiterbahnen im Mikrometerbereich drucken

Im Projekt Replay hat die Gruppe die Grundlage dafür gelegt, Leiterbahnen durch eine Kombination von subtraktiven und additiven Verfahren zu reparieren. Denn Pixelfehler in AMOLED-Displays führen zu hohen Ausschussraten dieser hochwertigen Güter. Die Gruppe hat einen Prozess entwickelt, um neue Leiterbahnen aufzubringen und damit Fehlstellen in der Verbindung zu einzelnen Pixeln zu beheben. Hierzu setzten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein Mikro-Dispensiersystem ein. Mit diesem waren sie in der Lage, Bahnen im einstelligen Mikrometer-Bereich zu drucken. Dieses Verfahren bietet die Gruppe nun auch interessierten Firmen als Dienstleistung an.

**Bohren von Löchern in CFK:****schnell und automatisiert**

Für das Laserbohren von Löchern hat die **Gruppe Verbundwerkstoffe** in den letzten Jahren einen Prozess und die dazugehörige Anlagentechnik entwickelt. Damit können sie zuverlässig und akkurat Löcher in kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) setzen, auch das Bohren von übereinander platzierten, unterschiedlichen Laminaten ist ohne weiteres möglich. Im Gegensatz zu konventionellen Verfahren gibt es keinen Werkzeugverschleiß und keine Gefahr von Delaminationen im Bauteil. Basis für den automatisierten Prozess ist eine eigens entwickelte Software. Überwacht wird der Prozess kontinuierlich durch Thermografie und basierend darauf wird die Wärmeabfuhr geregelt. Auf Grundlage dieser Vorarbeiten werden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nun in einem neuen Projekt den Ansatz weiter optimieren. Sie wollen noch schneller sehr viele kleine Löcher in verschiedene Sandwich-Strukturen und CFK-Bauteile bohren. Eingesetzt werden soll dieses Verfahren für die Herstellung von Schallschutzelementen im Flugzeugbau. Um mehrere Löcher gleichzeitig bohren zu können, werden diffraktive optische Elemente zur Aufspaltung des Laserstrahls eingesetzt. Ziel ist es dabei, konventionelle mechanische Bohrprozesse zu ergänzen oder langfristig zu ersetzen.

Beim Laserstrahlschweißen kann die Gruppe inzwischen sowohl CFK an CFK verschweißen als auch artungleiche Werkstoffe fügen. Die Gruppe setzt dafür sowohl fasergeführte Diodenlaser als auch Oberflächenemitter, sogenannte VCSEL, ein. Durch angepasste Strahlführung und -formung sind die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in der Lage, auch große Strukturbauteile sicher miteinander zu verschweißen. Sie erreichen außerdem große Anbindungsflächen, die eine hohe Kraftübertragung ermöglichen. Dieses wurde unter anderem im Projekt Mona 3D demonstriert, in dem Halteelemente flächig auf naturfaserverstärkte Bauteile geschweißt wurden.

**Schweißkopf mit anpassbarem Strahlungsfeld**

Im Projekt MultiSpot geht es ebenfalls um das Laserdurchstrahlschweißen von Kunststoffen und das Fügen von Kunststoff-Metall-Verbindungen. Wenn die Fügepartner komplexe Schweißnähte aufweisen, etwa mit kleinen Radien, kann es zu ungewollten Temperaturgefällen innerhalb von breiten Anbindungsflächen kommen. In die Außenseite der Kurve wird zwangsläufig weniger Energie eingebracht als in die Innenseite der Kurve. Um dies auszugleichen, arbeitet die **Gruppe Verbundwerkstoffe** an einem Schweißkopf, der neun Einzelspots abbildet. Diese sollen über neun einzelne Lichtleitfasern am Kopf separat angesteuert werden, um so ein anpassbares Strahlungsfeld generieren zu können. Genutzt werden könnte der Bearbeitungskopf neben dem Einsatz im Automobilbau auch in vielen weiteren Bereichen.

## IM FOKUS DER GRUPPEN

**ABTEILUNG PRODUKTIONS- UND SYSTEMTECHNIK****Gruppe Glas**

- CO<sub>2</sub>- und ultrakurzgepulste laserbasierte Funktionalisierung und Modifikation von Glasoberflächen
- Konzeption und Konstruktion von Anlagensystemen für die Laserbearbeitung von Glasbauteilen
- Faserauftragschweißen zum Fügen und zur Additiven Fertigung von Glaswerkstoffen

**Gruppe Verbundwerkstoffe**

- Photonische Prozesse für die trennende Bearbeitung von Faserverbundwerkstoffen und technischen Kunststoffen
- Laserstrahlschweißen thermoplastischer Werkstoffe
- Prozessbeobachtung und -regelung

**Gruppe Laser-Mikrobearbeitung**

- Photonische Prozesse für die Mikrobearbeitung
- Laserbasierte Funktionalisierung von Oberflächen
- Steuerung und Regelung von Lasermikrobearbeitungsprozessen
- Technologietransfer und Prozessentwicklung für die Industrie
- Grundlagen der Licht-Materie-Wechselwirkung

**Gruppe Additive Fertigung – Polymere und Multimaterialien**

- Prozessentwicklung und -regelung für die Additive Fertigung innovativer Polymerwerkstoffe
- Druck von Leiterbahnen im µm-Maßstab mittels Mikro-Dispensiersystemen

**Abteilungsleiter**

Dr.-Ing. Peter Jäschke

Tel.: +49 511 2788-432, E-Mail: p.jaeschke@lzh.de

## ABTEILUNG WERKSTOFF- UND PROZESSTECHNIK

### Im Fokus der Abteilung:

- Schweiß- und Lötprozesse von Metallen und Mischverbindungen
- Kundenspezifische Systemtechnik, Anlagenbau, Laserbearbeitungsköpfe und Prozessüberwachung für die Lasermaterialbearbeitung
- Additive Fertigungsverfahren mit Draht und Pulverwerkstoffen
- Prozesse und Systemtechnik für den Einsatz unter Wasser
- Laser- und Arbeitssicherheit

### Neue Prozesse und Prozessoptimierung

Die Abteilung Werkstoff- und Prozesstechnik entwickelt neue Systeme und Prozesse oder optimiert bestehende Prozesse. Dabei beschäftigt sie sich vor allem mit metallischen Werkstoffen und Mischverbindungen. Einsatz finden die Prozesse im Maschinen- und Anlagenbau, im Leichtbau, im maritimen Bereich aber auch in der Medizintechnik. Die Lasertechnik ermöglicht, Prozesse automatisiert und sehr kontrolliert durchzuführen.

Um digitale Maßlehren produzieren zu können, müssen dünne Federbleche sehr genau in einer Sandwichkombination gefügt werden. Mit herkömmlichen Fügeverfahren ist dies bisher nicht möglich. Daher hat die **Gruppe Fügen und Trennen von Metallen** im Projekt PROLAFÜ einen laserbasierten Prozess erarbeitet, mit dem sie Zehntelmillimeter-dünne Federbleche sicher und reproduzierbar fügen sowie trennen können. Mit diesem wird es möglich, Maßlehren zu fertigen, mit denen Spaltabstände digital gemessen und die Werte ausgelesen werden können.

Im Dickblechbereich konnten sich Laserstrahlschweißverfahren für Duplexstähle bisher nicht großflächig durchsetzen. Das LZH arbeitete daher im Projekt DupLUH an einem Laserstrahl-Unterpulver-Hybridschweißprozess. Eingesetzt haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dafür eine Höchstleistungslaserstrahlquelle und ein Rohr, das den Laserstrahl vom Schweißpulver abschirmt. So konnten sie zum Ende des Projekts erfolgreich Duplexstähle miteinander verschweißen. Mit dem Verfahren können die mechanischen Eigenschaften beziehungsweise die Korrosion beim Laserstrahlschweißen ausgeglichen und so eine höhere Produktivität beim Unterpulverschweißen erreicht werden. Das Verfahren könnte zukünftig als Ergänzung zum wenig effizienten mehrlagigen Lichtbogenschweißen eingesetzt werden.

### Ultraschall für bessere Schweißergebnisse

Ultraschall beeinflusst die Ausbildung der Mikrostruktur in der Schweißzone. In der zweiten Förderperiode des Sonderforschungsbereichs (SFB) 1153 „Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming“ untersucht die Gruppe nun, wie Ultraschall eingesetzt werden kann, um die Ergebnisse



Mit dem vom LZH entwickelten Koax-Kopf kann richtungsunabhängig Draht aufgetragen werden. (Foto: LZH)

des Laserstrahlschweißens zu verbessern. Für den komplexen Versuchsaufbau wird eine Prozessüberwachung aufgebaut. Die Gruppe erweitert den Aufbau um Sensorik wie einen Einschweißtiefsensor und ein optisches Mikrofon. Mit dem Ansatz wollen sie den Prozess besser verstehen und darauf aufbauend verbessern. Das übergeordnete Ziel des SFBs ist dabei: Halbzeuge erst zu fügen und anschließend umzuformen. Die **Gruppe Maschinen und Steuerungen** hat im Rahmen des SFBs bereits hybride Rohlinge für das spätere Umformen hergestellt. Eingesetzt haben sie dafür das koaxiale Laser-Draht-Auftragschweißen.

### Produktionsumgebung verändern – Oxidschichten vermeiden

Auf Metallen bilden sich sehr schnell Oxidschichten. Diese können Schweißverfahren stark behindern. Entweder müssen sie durch hohen Energieauftrag oder beispielsweise Flussmittel entfernt werden ansonsten bleiben Sauerstoffreste zwischen den Fügepartnern zurück. Das Schweißbild und die -anbindung werden so schlechter als sie müssten. Im neuen SFB 1368 „Sauerstofffreie Produktion“ arbeiten die beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daran, Produktionsumgebungen zu schaffen, die nahezu sauerstofffrei sind. Die **Gruppe Fügen und Trennen von Metallen** baut für das Laserstrahllöten von Aluminiumlegierungen entsprechende Systemtechnik auf. Die **Gruppe Additive Fertigung – Metalle** macht das gleiche für den Einsatz von Titan im Pulverbettverfahren. Einsetzen wollen sie dafür das Schutzgas Silan, das den Sauerstoff in der Prozesskammer bindet.

Einen anderen Ansatz verfolgt die **Gruppe Additive Fertigung – Metalle** im Schwerpunktprogramm SPP 2122 „Materialien für die laserbasierte additive Fertigung“: Um Magnesium für die Additive Fertigung mittels Selektivem Laserschmelzen einsetzen zu können, erarbeiten sie einen Prozess für eine neuartige Magnesiumlegierung. Magnesium ist ein sehr breit einsetzbarer Rohstoff. Es eignet sich sowohl als Leichtbaumaterial als auch als Material für sich selbst abbauende Implantate im menschlichen Körper. Jedoch oxidiert es sehr schnell, ist stark reaktiv und hat nur ein kleines Prozessfenster. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wollen im SPP, sowohl aus dem Material heraus als auch durch einen optimierten Prozess, die Ausbildung von Oxidschichten im Prozess minimieren. Gerade zwischen den vielen Schichten des Bauteils sind solche Oxidschichten besonders störend und verschlechtern die Bauteilqualität enorm. Daher setzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bei der Bearbeitung eine Argon-Wasserstoff-Atmosphäre ein. Im letzten Jahr konnten sie die Prozessierbarkeit der neuartigen Magnesiumlegierung verbessern und erreichen reproduzierbare Dichten von über 99,9 Prozent. In einem weiteren Projekt arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daran, die Prozessgeschwindigkeit bei der Verarbeitung von Magnesium zu erhöhen. Das Ziel: die Produktivität des Selektiven Laserschmelzens von Magnesium zu steigern. Das Verfahren soll für den industriellen Einsatz unter anderem reproduzierbarer und schneller werden. Während des Prozesses werden darüber hinaus die Prozessemissionen mit einer Hyperspektralkamera aufgenommen. Anhand der Daten können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Rauigkeit von Oberflächen vorhersagen. Wichtig ist dies vor allem für Implantate. Denn eine raue Oberfläche macht es wahrscheinlicher, dass Zellen sich auf der Oberfläche ansiedeln. Die großen Datenmengen, die dabei anfallen, wertet die Gruppe mithilfe von Methoden der Künstlichen Intelligenz aus; insbesondere setzen sie dafür auf Convolutional Neural Networks (CCN).

In der dritten Phase des SFB 871 „Regeneration komplexer Innovationsgüter“ wird die Gruppe die Methode des einkristallinen Auftragsschweißens zur Reparatur von Investitionsgütern auf eine kommerzielle LMD-Fünf-Achsanlage übertragen. Weiterhin wird im „SFB 871 Transfer“ der Prozess auf Hochdruckturbinenleit- und Laufschauflern ausgeweitet.

### MOONRISE: Mondstaub erstmals unter Mondgravitation geschmolzen

Weltweit einmalig war Anfang des Jahres der Versuch im Einstein-Elevator der Leibniz Universität Hannover im Projekt MOONRISE. Unter Schwerelosigkeit und Mondgravitation konnte mit dem zusammen mit den Abteilungen Laserentwicklung sowie Produktions- und Systemtechnik entwickelten Laser Regolith zu Kugeln aufgeschmolzen werden. Zum Ende des Projekts haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im LZH mit dem Laser synthetisches Regolith zu Linien aufgeschmolzen. Den Laser steuerten sie über den Robotorarm eines Rovers der TU Braunschweig an. Das Projekt könnte der Grundstein für den 3D-Druck von Baumaterial aus Mondstaub direkt auf dem Mond sein.

### Additive Fertigung von XXL bis Mikro

Motorengehäuse für den Schiffbau will die **Gruppe Maschinen und Steuerungen** zukünftig additiv fertigen können. Diese werden konventionell durch Gussverfahren und häufig nur in geringen Stückzahlen hergestellt. Die Herstellung der individuellen Gussformen ist zeit- und materialaufwendig, außerdem müssen die gegossenen Teile nachbearbeitet werden. Additiv gefertigte Gehäuse sollen sich schneller und materialeffizienter herstellen lassen. Die Gruppe kann momentan mit Auftragschweißverfahren bereits Wände mit Dimensionen von 80 mm Breite, 300 mm Länge und 200 mm Höhe fertigen.



Der MOONRISE-Laser beim Aufschmelzen von synthetischem Regolith. (Foto: LZH)



3D-Druck im XXL-Format: Mit dem Verfahren sollen zukünftig Schiffsmotorengehäuse hergestellt werden. (Foto: LZH)

Mit additiven Verfahren mit Draht lassen sich ebenfalls mikroskalige Komponenten fertigen. Dazu nutzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Mikrodraht mit einem Durchmesser von bis zu 75 Mikrometer. Sie erreichen inzwischen eine Schweißnaht mit einer Breite von nur 200 Mikrometer.

#### **Additiv und subtraktiv kombinieren**

Die Additive mit der konventionellen spanenden Fertigung zu kombinieren, daran arbeitet die **Gruppe Maschinen und Steuerungen** in einem weiteren neuen Projekt. Hierzu statten die Partner eine Fräsmaschine mit einer Laseranlage aus. Der in der Anlage enthaltene Laserkopf soll wie andere Werkzeuge automatisch ein-

gewechselt werden können. Durch diese Zusammenführung der additiven und subtraktiven Prozesse können die Bauteile in einer einzigen Maschine komplett fertig bearbeitet werden. Relevant ist dies nicht nur für neue Bauteile, sondern auch für die Reparatur von Investitionsgütern.

#### **Sicherheit in der Additiven Fertigung**

Neben Prozessemissionen können bei der Additiven Fertigung auch andere Gefahrenquellen entstehen. Beim Umgang mit Pulver kann dieses beispielsweise unbeabsichtigt verschleppt werden. Im Projekt MiGLaM untersucht die **Gruppe Sicherheitstechnik** daher mögliche Gefahrenquellen und erarbeitet Empfehlungen und Regularien für den Umgang mit der noch recht jungen Fertigungsmethode.

Für das in diesem Jahr beendete Projekt LaserRettung hat die Gruppe erfolgreich einen mobilen handgeführten Laserbearbeitungskopf entwickelt. Dieser könnte zukünftig von Feuerwehren bei der Personenbergung bei Autounfällen zum Einsatz kommen. Der Laser zerschneidet komplexe Konstruktionen und moderne Materialien wie hochfeste Stähle und Verbundstoffe in Autos schneller als konventionelle Methoden. Im Rettungseinsatz könnte er helfen, Personen schneller zu bergen, denn bei der Rettung von Unfallopfern zählt jede Sekunde. Um die Lasersicherheit von Anwendern geht es ebenso in dem in diesem Jahr gestarteten EU-Projekt WeLASER. Dieses hat zum Ziel Unkraut laserbasiert auf dem Feld zu bekämpfen. Die Gruppe entwickelt zusammen mit der Abteilung Industrielle und Biomedizinische Optik Konzepte, wie die Lasersicherheit für alle beteiligten Personen, wie Landwirte und Maschinenbediener, gewährleistet werden kann.



Ein handgeführter Laserbearbeitungskopf könnte zukünftig für eine schnellere Bergung von Unfallopfern eingesetzt werden. (Foto: LZH)



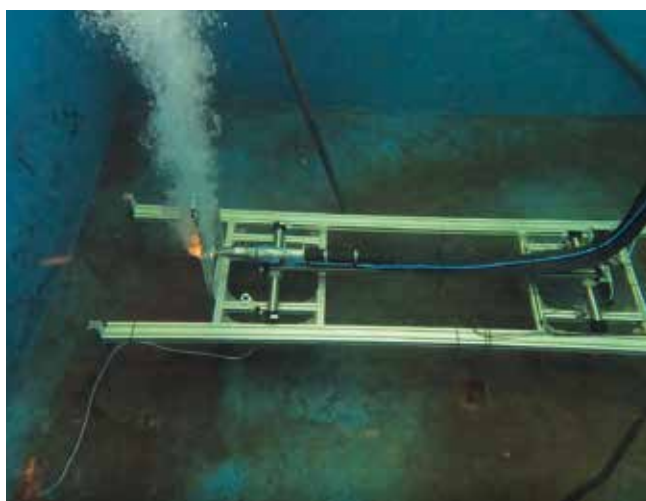
### Laser gegen Biofouling

Schiffsrümpfe müssen regelmäßig von marinem Bewuchs befreit werden. Dieses sogenannte Biofouling erhöht den Strömungswiderstand und dadurch den Kraftstoffverbrauch sowie die Emissionen. Die **Gruppe Unterwassertechnik** entwickelt mit zwei Partnern ein laserbasiertes Reinigungsverfahren, um den Bewuchs ohne Beschädigung der darunterliegenden Beschichtung schonend und effizient zu entfernen. Auf der Insel Helgoland haben die Partner 2020 einen Demonstrator aufgebaut und erste Feldversuche gestartet.

Ein laserbasiertes Analysesystem für die Tiefsee hat die **Gruppe Unterwassertechnik** zusammen mit der Abteilung Laserentwicklung und acht weiteren Partnern im EU-Projekt ROBUST entwickelt. Mit diesem System ist es möglich, Bodenproben in der Tiefsee nahezu zerstörungsfrei zu untersuchen. Bei ersten Praxistests in der pazifischen Tiefsee haben Laser, Steuerung und Software einwandfrei funktioniert. Bei weiteren Tests bei bis zu 500 bar konnte das System Kupfer und Zink in realen Massiv-Sulfid-Proben spektroskopisch nachweisen.

### Rückbau von Atomkraftanlagen

Im Unterwassertechnikum Hannover konnte die Gruppe in einer Wassertiefe von vier Metern erfolgreich drei und fünfzehn Millimeterdicke Stahlbleche schneiden. Entwickelt haben sie einen Prozess und eine Schneidoptik für den Rückbau von Atomkraftanlagen unter Wasser. Der Einsatz der laserbasierten Methode ermöglicht eine Einsparung von bis zu 95 Prozent der Sekundärabfälle. Denn im Gegensatz zu konventionellen Methoden bleibt ein Großteil der Schmelze am Blech haften, anstatt an das Wasser abgegeben zu werden. Außerdem wird kein zusätzliches Abrasivmaterial, wie beim Wasserstrahlschneiden, benötigt.



Mit dem Laser könnten beim Zerlegen von Elementen alter Atomkraftwerke Sekundärabfälle stark reduziert werden. (Foto: LZH)

## IM FOKUS DER GRUPPEN

### ABTEILUNG WERKSTOFF- UND PROZESSTECHNIK

#### Gruppe Fügen und Trennen von Metallen

- Schweißen und Löten von Metallen und Mischverbindungen für den automobilen Leichtbau
- Einsatz von Verfahrenskombinationen zur Prozessregelung
- Dickblechschweißen mit Hochleistungslasern bis 60 kW oder Hybridverfahren für den Schiff- und Pipelinebau
- Dimensionsüberschreitende Bearbeitung von Werkstoffen und Materialstärken
- Kundenspezifische Prozessentwicklung

#### Gruppe Maschinen und Steuerungen

- Laseradditive Fertigung mit drahtförmigen Werkstoffen
- Kombination von Laser-Lichtbogenverfahren für die Additive Fertigung von Großbauteilen
- Laserbasiertes Strukturieren von Oberflächen
- Softwarebasierte Prozesssteuerung und Qualitätsüberwachung
- Adaptierung und Entwicklung von kundenspezifischen Systemkomponenten, insbesondere Prozessköpfe

#### Gruppe Unterwassertechnik

- Systemtechnik für den Einsatz unter Wasser
- Lasermaterialbearbeitung unter Wasser
- Mess- und Analysetechnik unter Wasser

#### Gruppe Additive Fertigung – Metalle

- Laseradditive Fertigungsverfahren mit pulverförmigen Werkstoffen
- Prozessentwicklung für Sonderwerkstoffe
- Innovative Verschleiß- und Korrosionsschutztechnologien
- Prozessbeobachtung und Regelung additiver Prozesse

#### Gruppe Sicherheitstechnik

- Laser- und Arbeitssicherheit
- Gefährdungsanalysen und Schutzmaßnahmen
- Emissionsprognosen und -charakterisierung
- Mobile Lasersystemtechnik für sicherheitsrelevante Anwendungen

#### Abteilungsleiter

Dr.-Ing. SFI Jörg Hermsdorf

Tel.: +49 511 2788-370, E-Mail: j.hermsdorf@lzh.de

## AKADEMISCHE ARBEITEN

### PROMOTIONEN

**Dr.-Ing. Jan Hahn**, Computergestützte Analysetechnik und individuelle Modellbildung zur optomechanischen Untersuchung laserbehandelter Augenlinsen (April 2020)

**Dr. rer. nat. Istvan Balasa**, XUV/EUV-Reflektrometrie als komplementäre Messmethode für die Oberflächen-Materialanalytik (Juni 2020)

**Dr. rer. nat. Sonja Johannsmeier**, Design, Evaluation and Application of Hydrogel Waveguides for Optogenetics (Juni 2020)

**Dr.-Ing. Rabi Lahdo**, Laserstrahlschweißen von Stahl an Aluminiumlegierungen im Dickblechbereich (Dezember 2020)

### MASTERARBEITEN

**Alina Rahtz, M. Sc.**, Improvement of the shelf-life on poultry meat by use of high power UV-C-LEDs (Januar 2020)

**Carline Trampe, M. Sc.**, Verstärkung ultrakurzer Laserpulse bei 1750nm in Thulium-dotierter Faser (Januar 2020)

**Björn Wünschmann, M. Sc.**, Realisierung einer touchoptimierten Software zur Bedienung eines Lasertransfektionsaufbaus in C++ (Januar 2020)

**Diaa Khayyat, M. Sc.**, Bestimmung der Diffusionskoeffizienten für verschiedene Ausgangskonzentrationen und Einwirkdauern von Riboflavin in Schweinecornea mittels Zweiphotonenmikroskopie (Februar 2020)

**Minh Thanh Truc Nguyen, M. Sc.**, Entwicklung von in vitro-Modellen für die Evaluierung von implantierbaren Hydrogel-Lichtleitern (Februar 2020)

**Alexander Groß, M. Eng.**, Analyse und Optimierung der Schneidgasströmung beim Laserstrahlschneiden unter Wasser (April 2020)

**Eike Brockmüller, M. Sc.**, Production and Characterization of Pump Combiners with CCC Fibers for Side Pumped Single Frequency All Fiber Amplifiers (Juni 2020)

**Marcel Frömberg, M. Sc.**, Entwicklung eines Steuerungsprogramms zum Laserschäften von Freiformen auf 3D-Oberflächen (Juni 2020)

**Marcel Timo Buschjohann, M. Sc.**, Entwicklung einer Systemtechnik zur Ausrichtung des Innenbearbeitungskopfes für die Laserstrukturierung und zur Bestimmung der Fokusslage (Juli 2020)

**Lennart Müller-Wirts, M. Sc.**, Konstruktive und optische Konzeption eines anatomiegerechten MHz-OCT-Laryngoskops (Juli 2020)

**Christian Plaggenborg, M.Sc.**, Laserstrahl-Dickblechschweißen im Schiffbau – Initiale Ermittlung geometrischer Größen einer Kantenvorbereitung für die Entwicklung eines kombinierten Fügeprozesses (Juli 2020)

**Marcel Pootz, M. Sc.**, Untersuchungen zum Laserstrahlschweißen im Grobvakuum: Qualität und Wirtschaftlichkeit (Juli 2020)

**Lennart Prochnow, M. Sc.**, Analyse der durch das Keyhole transmittierten Laserstrahlung beim Laserstrahlschweißen verzinkter Karosseriebleche im technischen Nullspalt (Juli 2020)

**Julien Reinhardt, M. Sc.**, Optimierung der additiven Fertigung von Kunststoffbauteilen zur Reduktion von Lufteinschlüssen beim Laserdurchstrahlschweißen (September 2020)

**Chris Henkel, M. Sc.**, Entwicklung eines Laserdurchstrahlschweißprozesses mittels einer MultiSpot-Schweißoptik (Oktober 2020)

**Benedikt Schuhbauer, M. Sc.**, Nonlinear Amplification and Spectral Reshaping in a Dispersion-Managed Thulium-Doped Fiber Mamyshv Oscillator (Oktober 2020)

**Hannes Kamin, M. Sc.**, Erfassung und Quantifizierung geometrischer Eigenschaften sowie Orientierung dreidimensionaler Kollagenetzwerke des triple negativen Mammakarzinoms (November 2020)

### BACHELORARBEITEN

**Tim Eismann, B. Eng.**, Multifunktionales Pulverdüsensdesign für die additive Fertigung (Juni 2020)

**Johanna Paul, B. Sc.**, Entwicklung eines empirischen Prozessmodells zum gezielten Einbringen von Porosität beim Laserstrahlschmelzprozess einer Titanlegierung (Juni 2020)

**Nancy Gonzalez, B. Eng.**, Measurement of the collagen autofluorescence on porcine corneas after cross-linking (CXL) with UV-light, and a Femtosecond (fs-) laser using Multiphoton Microscopy (September 2020)

**Vincent Falldorf, B. Sc.**, Kamerabasierte 3D-Erfassung von Oberflächen zur Fokusslagensuche in der Lasermaterialbearbeitung (November 2020)

**Victor Freiherr von Maltzahn, B. Sc.**, Prozessentwicklung für die Mikrostrukturierung von Spritzgussformensätzen mittels ultrakurzer Laserpulse (November 2020)

**Niclas Söhnholz, B. Sc.**, Einstellung der Oberflächengüte von Bauteilen aus einer Magnesiumlegierung im selektiven Laserstrahlschmelzen (Dezember 2020)

# NACHWUCHSFÖRDERUNG UND WEITERBILDUNG

## NACHWUCHSFÖRDERUNG



Die Fachkräftesicherung für den Hochtechnologiebereich Photonik ist ein wichtiges Thema am LZH. Zusammen mit den Fachabteilungen engagiert sich der Bereich Services für die Förderung des Nachwuchses und die gezielte Weiterbildung von Berufstätigen und Fachkräften. Um Mädchen und Jungen schon frühzeitig für die MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik) zu begeistern und um Studierenden zusätzliche Qualifikationen anzubieten, unterstützt beziehungsweise initiiert das LZH unter dem Motto „Light for your future“ zahlreiche Aktionen:

- Zukunftstag für Mädchen und Jungen
- Besuche von Schulklassen
- Schulpraktika
- IdeenExpo
- Freiwilliges Wissenschaftliches Jahr (FWJ)
- Niedersachsen-Technikum
- Praktika für Studierende
- Studien-/Abschlussarbeiten



Das LZH bietet mit Ausbildungsplätzen für Kaufleute für Büromanagement jungen Menschen einen Einstieg in die Berufswelt an einem Forschungsinstitut und darüber hinaus. Über den Ausbildungszeitraum von drei Jahren werden die Azubis in den verschiedenen Bereichen der Abteilungen Verwaltung und Kommunikation sowie bei der Fachkraft für Arbeitssicherheit eingesetzt. So erhalten sie eine Gesamtübersicht der Abläufe im LZH und fundierte Kenntnisse aus den verschiedenen Bereichen als solide Basis für ihr zukünftiges Berufsleben.

Je nach Interessenlage können die Azubis im Rahmen ihres Ausbildungsplans den Fokus auf spezielle Themen der Verwaltung oder der Kommunikation legen. In der Abteilung Kommunikation können sie beispielsweise an der Vorbereitung und Durchführung von Veranstaltungen mitwirken, die Webseite pflegen oder an anderen Informationsmaterialien für Multimedia oder Print mitarbeiten. In der Verwaltung sind die Auszubildenden in die Abläufe der Buchhaltung, der Personalstelle und des Projektcontrollings eingebunden. Dazu gehören beispielsweise die Bearbeitung von Eingangsrechnungen, die Erstellung von Ausgangsrechnungen, die Berechnung von Reisekosten oder das Einpflegen von Projektbudgets in ein ERP-System.

Das besondere bei einer Ausbildung an einem Forschungsinstitut wie dem LZH ist die Zusammenarbeit mit den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die den Azubis einmalige Einblicke in die Welt der Forschung bietet.

## LZH LASER AKADEMIE

### **Wir haben die passende Weiterbildung in der Lasertechnik**

Seit über 15 Jahren ist die LZH Laser Akademie ein führender Anbieter von Weiterbildung in der Lasertechnik für Meisterinnen und Meister, Technikerinnen und Techniker sowie Ingenieurinnen und Ingenieure. Ein großer Schwerpunkt ist die Ausbildung von Laserschutzbeauftragten, die in den Betrieben natürlich auch in Zeiten einer Pandemie benötigt werden. So war es für die LZH Laser Akademie selbstverständlich, während der durch die Landesregierung angeordneten Schließung aller Bildungseinrichtungen, diese Schulungen – abgestimmt mit den Berufsgenossenschaften – im Rahmen von Online-Angeboten weiterzuführen.

Der direkte Austausch zwischen erfahrenen Dozentinnen und Dozenten und Teilnehmenden in theoretischen und praktischen Unterrichtseinheiten und in persönlichen Gesprächen ist jedoch ein wichtiger Faktor für den Lernerfolg. Dozenten, Arbeitgeber und Teilnehmende waren daher sehr froh, dass ab April wieder Präsenztermine möglich waren. Die sichere Durchführung der Fortbildungen mit einem dem Arbeitsschutzstandard entsprechenden Hygienekonzept wurde von den Teilnehmenden durchweg positiv bewertet. Einhellige Meinung: Online-Schulungen für Laserschutzbeauftragte können nur eine Notlösung sein.

### **Qualifizierung von Fachkräften – nun auch nach europäischen Ausbildungsrichtlinien**

Das Thema Additive Fertigung stand auch 2020 im Mittelpunkt der Projekte und wird in den kommenden Jahren ebenso ein zentraler Schwerpunkt sein.

Bisher fehlten noch Qualifikationsstufen wie Konstrukteure, Prozessverantwortliche, Maschinen- und Anlagenbediener sowie Qualitätsprüfer für die Additive Fertigung. Im Projekt CLLAIM ([www.clclaimprojectam.eu](http://www.clclaimprojectam.eu)) hat die Akademie zusammen mit europäischen Partnern Curricula für diese Qualifikationen entwickelt. Das Projekt fand mit der Abschlusskonferenz am 5. November 2020 mit mehr als 200 registrierten Teilnehmenden sein erfolgreiches Ende. Für die Akademie geht es jedoch weiter: Auf Basis der erfolgreich durchgeführten Pilotveranstaltungen „DED-LB Process / Laserauftragschweißen“, „Additive Manufacturing Processes Overview“ und „Health – Safety – Environment (HSE) in der additiven Fertigung“ erfolgte in Kooperation mit der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt Hannover die Zulassung als autorisierte Trainingseinrichtung für den Europäischen Dachverband EWF (European Welding Foundation).

Das Projekt SAM ([www.skills4am.eu](http://www.skills4am.eu)) widmete sich 2020 ebenfalls weiter dem Thema Additive Fertigung. Für den Aufbau eines Europäischen Bildungssystems wurde mit der Gründung der Europäischen Koordinierungsstelle und dem Aufbau von Arbeitsgruppen



*Die LZH Laser Akademie bietet ergänzend zum Präsenz-Angebot auch Online-Kurse. (Foto: LZH Laser Akademie)*

der Rahmen geschaffen. Gemeinsam mit den 17 europäischen Partnern wurden Instrumente zur Anrechnung von Vorkenntnissen und zur Überarbeitung und Aktualisierung der Richtlinien auf Basis des industriellen Bedarfs entwickelt, die derzeit in der mehrstufigen Pilotphase getestet und weiterentwickelt werden.

Am 1. November startete DESTINE ([www.destineproject.eu](http://www.destineproject.eu)), ein Projekt, das sich der Nachwuchsförderung in der Additiven Fertigung widmet. Um junge Menschen für eine qualifizierte Karriere in der Additiven Fertigung zu begeistern, wird ein europäischer Qualifikationswettbewerb mit nationalen Vorrunden vorbereitet und durchgeführt.

Für Niedersachsen ADDITIV wird die Laser Akademie auch in den kommenden drei Jahren Angebote der Erstinformation sowie Schulungen und Onlinemodule entwickeln und durchführen beziehungsweise begleiten. Mehr Informationen finden sich dazu im Beitrag zu **Niedersachsen ADDITIV** auf Seite 14.



## VORLESUNGEN UND SEMINARE

Folgende Vorlesungen und Seminare wurden von LZH-Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in 2020 gehalten:

### Wintersemester 2019/20

„Fundamentals and Configurations of Laser Beam Sources“, Vorlesung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Dr. Andreas Wienke

„Grundlagen der Lasermedizin und Biophotonik“, Vorlesung und Seminar, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozenten: Prof. Dr. Alexander Heisterkamp, PD Dr. Holger Lubatschowski

„Grundlagen und Aufbau von Laserstrahlquellen“, Vorlesung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozenten: Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer, Dr. Dietmar Kracht

„Introductory Biophysics for Physicists“, Vorlesung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Prof. Dr. Alexander Heisterkamp

„Journal Club Biomedical“, Seminar, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Prof. Dr. Alexander Heisterkamp

„Lasermedizin“, Gruppenseminar, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Prof. Dr. Alexander Heisterkamp

„Laser in der Biomedizintechnik“, Vorlesung mit Übung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Dr.-Ing. Stefan Kaielerle

„Laserfertigungstechnik“, Blockveranstaltung, Hochschule Hannover, Dozenten: Prof. Dr.-Ing. Henning Ahlers, Klaus Raebisch

„Laserkomponenten“, Gruppenseminar, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Prof. Dr. Detlev Ristau

„Optische Schichten“, Vorlesung mit Übung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Prof. Dr. Detlev Ristau

### Sommersemester 2020

„Aktuelle Aspekte der Biomedizinischen Optik“, Seminar, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Prof. Dr. Alexander Heisterkamp

„Biophotonik – Bildgebung und Manipulation von biologischen Zellen“, Vorlesung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Prof. Dr. Alexander Heisterkamp

„Biophotonik“, Proseminar, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozenten: PD Dr.-Ing. Maik Rahlves, Prof. Dr. Bernhard Wilhelm Roth, PD Dr. Merve Wollweber

„Grundlagen optischer Fasern“, Vorlesung mit Übung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Prof. Dr. Detlev Ristau

„Journal Club Biomedical“, Seminar, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Prof. Dr. Alexander Heisterkamp

„Laserbasierte additive Fertigung“, Vorlesung mit Übung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Dr.-Ing. Stefan Kaielerle

„Laserfertigungstechnik“, Blockveranstaltung, Hochschule Hannover, Dozent: Prof. Dr.-Ing. Henning Ahlers, Klaus Raebisch

„Laserkomponenten“, Gruppenseminar, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Prof. Dr. Detlev Ristau

„Lasermaterialbearbeitung“, Vorlesung mit Übung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer

„Lasermedizin“, Gruppenseminar, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Prof. Dr. Alexander Heisterkamp

„Laser technology in medicine“, Vorlesung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Prof. Dr. Alexander Heisterkamp

„Theorie und Praxis optischer Funktionsschichten“, Seminar, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Dozent: Prof. Dr. Detlev Ristau

## VERANSTALTUNGEN 2020



### Branchentreff Medizintechnik

28.01.2020

Beim Branchentreff Medizintechnik Ende Januar in Hannover nutzten über 30 Gäste aus Wirtschaft und Wissenschaft die Plattform von Niedersachsen ADDITIV und BioRegion N – Netzwerk Life Sciences Niedersachsen zum Austausch über Trends und Entwicklungen in der Medizintechnik und der Additiven Fertigung.

### Online-Seminar: Additive Fertigung – Chancen für den Mittelstand

04.06.2020

Anfang Juni bot Niedersachsen ADDITIV allen Interessierten die Möglichkeit, sich in einem kompakten Online-Seminar über die Additive Fertigung im Allgemeinen zu informieren. Knapp 40 Teilnehmende nutzten die Gelegenheit, die Vorträge zu den Grundlagen des 3D-Drucks, 3D-Druck mit Metall, lokale Fertigung und Nachbearbeitung additiv gefertigter Bauteile anzuhören. Fragen rund um die Additive Fertigung beantworteten die Expertinnen und Experten in der Pause und in der Abschlussdiskussion.



### Online-Workshop: Konstruktion für die Additive Fertigung

29.09.2020

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedener Institutionen nutzen im September digital die Gelegenheit, sich beim gemeinsamen Workshop des Instituts für Produktentwicklung und Gerätebau (iPeG) der Leibniz Universität Hannover und des LZH über die Konstruktion für die Additive Fertigung auszutauschen. Dabei wurden unter anderem Optimierungen und Einsatzmöglichkeiten des 3D-Drucks besprochen. Der Workshop fand bereits zum fünften Mal statt.

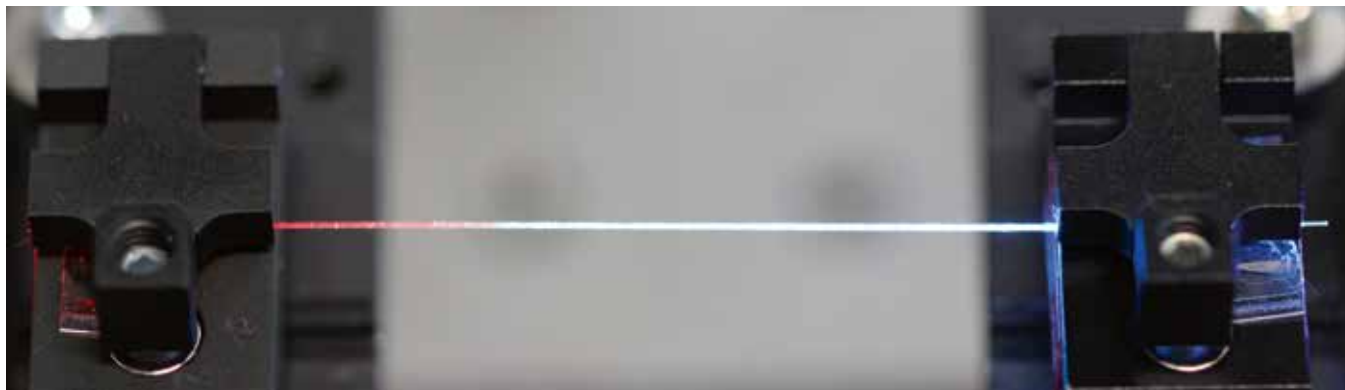
### 10. Workshop: Laserbearbeitung von Glaswerkstoffen

02./03.12.2020

Anfang Dezember 2020 fand der zehnte gemeinsame Glasworkshop des LZH und der Bayerisches Laserzentrum GmbH (blz) statt. Um die Teilnahme aufgrund der Corona-Pandemie zu erleichtern, wurde dieser erstmalig online angeboten. Über zwei Vormittage erwarteten die über 70 Teilnehmerinnen und Teilnehmer spannende Vorträge von Experten aus der Forschung und Industrie.



# VERÖFFENTLICHUNGEN



Die wissenschaftlichen Veröffentlichungen werden alphabetisch nach Erstautor/-in aufgelistet.

## ABTEILUNG OPTISCHE KOMPONENTEN

T. Alig, N. Bartels, P. Allenspacher, I. Balasa, T. Böntgen, D. Ristau, L. O. Jensen, **Increasing the laser induced damage resistance of ultraviolet antireflective coatings by mitigation of damage precursors.** Laser Congress 2020 (ASSL, LAC), OSA Technical Digest, AW1A.6 (2020).

T. Alig, H. Mädebach, N. Bartels, P. Allenspacher, I. Balasa, T. Böntgen, D. Ristau, L. O. Jensen, **Damage precursor mitigation towards enhanced laser resistance of ultraviolet antireflective coatings.** SPIE Laser Damage, 15.-18. September, online (2020).

T. Böntgen, M. Neufert, L. O. Jensen, **Optical coatings – precision engineering on non-flat surfaces.** EOS Annual Meeting (EOSAM), 07.-11. September, online (2020).

K. Kiedrowski, F. Jakobs, J. Kielhorn, H.-H. Johannes, W. Kowalsky, D. Kracht, I. Balasa, D. Ristau, **Laser-induced degradation and damage morphology in polymer optical fiber.** SPIE Proceedings Vol. 11355: Micro-Structured and Specialty Optical Fibers VI, 1135504 (2020).

K. Kiedrowski, J. Kielhorn, F. Jakobs, H.-H. Johannes, W. Kowalsky, D. Kracht, I. Balasa, D. Ristau, **Leistungsfähigkeit von optischen PMMA Fasern.** Tagungsband Drittes Deutsches POF-Symposium, 101-112 (2020).

M. Steinecke, H. Badorreck, M. Jupé, T. Willemsen, L. Hao, L. O. Jensen, D. Ristau, **Quantizing nanolaminates as versatile materials for optical interference coatings.** Appl. Optics 5 (59), A236-A241 (2020).

M. Steinecke, J. Matthes, L. O. Jensen, M. Jupé, D. Ristau, **Electrical and optical properties linked to laser damage behavior in indium tin oxide.** SPIE Laser Damage, 15.-18. September, online (2020).

## ABTEILUNG LASERENTWICKLUNG

M. Baudisch, M. Hinkelmann, D. Wandt, J. Neumann, I. Rimke, **2.4-18  $\mu\text{m}$  tunable, picosecond parametric source for the generation of narrowband,  $\mu\text{J}$ -level pulses with sub-8  $\text{cm}^{-1}$  spectral bandwidth and 20 kHz repetition rate.** SPIE Photonics West: LASE, 01.-06. Februar, San Francisco (2020).

P. Booker, O. de Varona Ortega, P. Weßels, J. Neumann, D. Kracht, **Experimental and Numerical Study of High-power EYDFA Inter-lock Requirements.** Opt. Express 21 (28), 31480-31486 (2020).

P. Booker, O. de Varona Ortega, P. Weßels, J. Neumann, D. Kracht, **Experimental and Numerical Study of High-power EYDFA Inter-lock Requirements.** OSA Technical Digest, SoTu3H.3 (2020).

E. Brockmüller, S. Hochheim, P. Weßels, J. Koponen, T. Lowder, S. Novotny, J. Neumann, D. Kracht, **Pump Combiner with Chirally Coupled Core Fibers for Side Pumped Single Frequency All Fiber Amplifiers.** 9<sup>th</sup> EPS-QEOD Europhoton Virtual Conference, 30. August -04. September, online (2020).

E. Chatzizyrlı, A. Wienke, R. Lachmayer, J. Neumann, D. Kracht, **Opto-thermal simulation framework for the investigation of phosphor materials in laser-based lighting systems.** SPIE Proceedings Vol. 11274: Physics and Simulation of Optoelectronic Devices XXVIII, 112741E (2020).

T. Grabe, J. Budde, F. Kranert, A. Wienke, J. Neumann, D. Kracht, R. Lachmayer, **Kühlkörper-Designansatz für einen  $\text{AlSi}_{10}\text{Mg}$  eingebetteten Laserkristall.** In: Konstruktion für die Additive Fertigung 2019. Berlin, Heidelberg, Springer Vieweg, 159-175 (2020).

M. Hinkelmann, M. Baudisch, D. Wandt, U. Morgner, K. Zawilski, P. Schunemann, J. Neumann, I. Rimke, D. Kracht, **High-repetition rate, mid-infrared, picosecond pulse generation with  $\mu\text{J}$ -energies based on OPG/OPA schemes in 2- $\mu\text{m}$ -pumped  $\text{ZnGeP}_2$** . Opt. Express 15 (28), 21499-21508 (2020).

S. Hochheim, E. Brockmüller, P. Weßels, J. Koponen, T. Lowder, S. Novotny, J. Neumann, D. Kracht, **Integrated signal and pump combiner in chirally-coupled-core fibers for all-fiber lasers and amplifiers**. Advanced Photonics Congress 2020, 14. Juli, online (2020).

S. Hochheim, E. Brockmüller, P. Weßels, M. Steinke, J. Koponen, T. Lowder, S. Novotny, J. Neumann, D. Kracht, **Integrated fiber components based on chirally-coupled-core fibers for all-fiber amplifier**. SPIE Proceedings Vol. 11357: Fiber Lasers and Glass Photonics: Materials through Applications II, 113570Y (2020).

S. Hochheim, M. Steinke, P. Weßels, J. Neumann, D. Kracht, **Broad-band Excess Intensity Noise due to an Asymmetric Brillouin Gain Spectrum in Optical Fibers**. OSA Continuum, 10 (3), 2902-2911 (2020).

S. Hochheim, M. Steinke, P. Weßels, O. de Varona Ortega, J. Koponen, T. Lowder, S. Novotny, J. Neumann, D. Kracht, **Single-frequency chirally coupled-core all-fiber amplifier with 100 W in a linearly polarized  $\text{TEM}_{00}$  mode**. Opt. Lett. 4 (45), 939-942 (2020).

S. Hochheim, M. Steinke, P. Weßels, O. de Varona Ortega, J. Koponen, T. Lowder, S. Novotny, J. Neumann, D. Kracht, **Single-frequency chirally-coupled-core all-fiber amplifier with 100W in a linearly-polarized  $\text{TEM}_{00}$ -mode**. SPIE Proceedings Vol. 11260: Fiber Lasers XVII: Technology and Systems, 112601C (2020).

F. Kranert, J. Budde, P. Neef, R. Bernhard, M. Lammers, K. Rettschlag, T. Grabe, A. Wienke, J. Neumann, H. Wiche, V. Wesling, H. Ahlers, R. Lachmayer, D. Kracht, **3D-printed, low-cost, lightweight optomechanics for a compact, low-power solid-state amplifier system**. SPIE Proceedings Vol. 11261: Components and Packaging for Laser Systems VI, 1126105 (2020).

F. Kranert, K. Rettschlag, A. Wienke, A. Hohnholz, J. Neumann, P. Jäschke, D. Kracht, R. Lachmayer, **Generation of functional curved waveguides by  $\text{CO}_2$ -laser based deposition of coreless fused silica fibers**. SPIE Proceedings Vol. 11349: 3D Printed Optics and Additive Photonic Manufacturing II, 1134909 (2020).

LIGO Scientific Collaboration & Virgo Collaboration, ..., P. Booker, O. de Varona Ortega, S. Hochheim, M. Steinke, P. Wellmann, P. Weßels, author list of 1000+ members, **A guide to LIGO-Virgo detector noise and extraction of transient gravitational-wave signals**. Class. Quantum Grav. 5 (37), 55002 (2020).

LIGO Scientific Collaboration & Virgo Collaboration, ..., P. Booker, O. de Varona Ortega, S. Hochheim, M. Steinke, F. Wellmann, P. Weßels, author list 1000+ members, **A Joint Fermi-GBM and LIGO/Virgo Analysis of Compact Binary Mergers from the First and Second Gravitational-wave Observing Runs**. Astrophys. J., 2 (893), 100 (2020).

LIGO Scientific Collaboration & Virgo Collaboration, ..., P. Booker, O. de Varona Ortega, S. Hochheim, M. Steinke, F. Wellmann, P. Weßels, author list 1000+ members, **GW190412: Observation of a Binary-Black-Hole Coalescence with Asymmetric Masses**. arXiv, 2004.08342 (2020).

LIGO Scientific Collaboration & Virgo Collaboration, ..., P. Booker, O. de Varona Ortega, S. Hochheim, M. Steinke, F. Wellmann, P. Weßels, author list 1000+ members, **GW190425: Observation of a Compact Binary Coalescence with Total Mass  $\sim 3.4 \text{ MO}$** . Astrophys. J. Lett., 1 (892), L3 (2020).

LIGO Scientific Collaboration & Virgo Collaboration, ..., P. Booker, O. de Varona Ortega, S. Hochheim, M. Steinke, F. Wellmann, P. Weßels, author list 1000+ members, **GW190521: A Binary Black Hole Merger with a Total Mass of 150  $\text{MO}$** . Phys. Rev. Lett. 10 (125), 101102 (2020).

LIGO Scientific Collaboration & Virgo Collaboration, ..., P. Booker, O. de Varona Ortega, S. Hochheim, M. Steinke, F. Wellmann, P. Weßels, author list of 1000+ members, **GW190814: Gravitational Waves from the Coalescence of a 23 Solar Mass Black Hole with a 2.6 Solar Mass Compact Object**. Astrophys. J. Lett., 2 (896), L44 (2020).

LIGO Scientific Collaboration & Virgo Collaboration, ..., P. Booker, O. de Varona Ortega, S. Hochheim, M. Steinke, F. Wellmann, P. Weßels, author list of 1000+ members, **Gravitational-wave Constraints on the Equatorial Ellipticity of Millisecond Pulsars**. Astrophys. J. 1 (902), L21 (2020).

LIGO Scientific Collaboration & Virgo Collaboration, ..., P. Booker, O. de Varona Ortega, S. Hochheim, M. Steinke, F. Wellmann, P. Weßels, author list of 1000+ members, **Model comparison from LIGO-Virgo data on GW170817's binary components and consequences for the merger remnant**. Class. Quantum Grav. 4 (37), 45006 (2020).



LIGO Scientific Collaboration & Virgo Collaboration, ..., P. Booker, O. de Varona Ortega, S. Hochheim, M. Steinke, F. Wellmann, P. Weßels, author list of 1000+ members, **Optically targeted search for gravitational waves emitted by core-collapse supernovae during the first and second observing runs of advanced LIGO and advanced Virgo**. Phys. Rev. D 8 (101), 84002 (2020).

LIGO Scientific Collaboration & Virgo Collaboration, ..., P. Booker, O. de Varona Ortega, S. Hochheim, M. Steinke, F. Wellmann, P. Weßels, author list of 1000+ members, **Properties and Astrophysical Implications of the 150 M $\odot$  Binary Black Hole Merger GW190521**. Astrophys. J. 1 (900), L13 (2020).

LIGO Scientific Collaboration & Virgo Collaboration, ..., P. Booker, O. de Varona Ortega, S. Hochheim, M. Steinke, F. Wellmann, P. Weßels, author list of 1000+, **Prospects for observing and localizing gravitational-wave transients with Advanced LIGO, Advanced Virgo and KAGRA**. Living Rev. Relativ. 1 (23), 3 (2020).

M. J. Losekamm, S. Barber, J. Biswas, T. Chupin, M. Deiml, M. Dere-metz, A. Evagora, M. Glier, C. Gscheidle, K. Kullack, H. K. Madakas-hira, N. Murray, J. Neumann, T. Pöschl, M. Reganaz, L. Richter, H. Sargeant, S. Schröder, J. Schwanethal, S. Sheridan, D. Urbina, D. Vogt, P. Weßels, **Searching for Water Ice with the LUVMI-X Lunar Rover**. Proceedings of the International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space (i-SAIRAS), 5081 (2020).

C. Lotz, N. Gerdes, R. Sperling, S. Lazar, S. Linke, J. Neumann, E. Stoll, W. Ertmer, L. Overmeyer, **Tests of additive manufacturing and other processes under space gravity conditions in the Ein-stein-Elevator**. Tagungsband 16. Fachkolloquium der WGTL e.V., 159-170 (2020).

A. Marianovich, S. Spiekermann, M. Brendel, P. Weßels, J. Neumann, M. Weyers, D. Kracht, **Picosecond optical parametric generation in the red to near infrared band with a MgO:PPLN crystal pumped by an amplified passively Q-switched microchip laser**. Proceedings of the Advanced Solid State Lasers Conference (ASSL), AF3A.6 (2020).

P. Reppen, D. Wandt, U. Morgner, J. Neumann, D. Kracht, **Amplifi-cation of ultrafast pulses in an extended Mamyshev regenerator**. SPIE Proceedings Vol. 11260: Fiber Lasers XVII: Technology and Systems, 112600P (2020).

P. Reppen, D. Wandt, A. Wienke, J. Neumann, U. Morgner, D. Kracht, **High-energy pulses from an Yb-doped fiber Mamyshev oscillator by the use of a few-mode amplification fiber**. 9<sup>th</sup> EPS-QEOD Euro-photon Virtual Conference, 30. August - 04. September, online (2020).

P. Reppen, B. Schuhbauer, M. Hinkelmann, D. Wandt, A. Wienke, U. Morgner, J. Neumann, D. Kracht, **Mode-locked pulses from a Thulium-doped fiber Mamyshev oscillator**. Opt. Express 9 (28), 13837-13844 (2020).

P. Reppen, B. Schuhbauer, M. Hinkelmann, D. Wandt, A. Wienke, J. Neumann, U. Morgner, D. Kracht, **Generation of high-energy pulses from a Thulium-doped fiber Mamyshev oscillator**. 9<sup>th</sup> EPS-QEOD Europhoton Virtual Conference, 30. August-04. September, online (2020).

S. Spelthann, S. Unland, J. Thiem, F. Jakobs, J. Kielhorn, P. Y. Ang, H.-H. Johannes, D. Kracht, J. Neumann, A. Rühl, W. Kowalsky, D. Ristau, **Towards Highly Efficient Polymer Fiber Laser Sources for Integrated Photonic Sensors**. Sensors-Basel 15 (20), 4086 (2020).

S. Stapperfend, N. Gerdes, S. Linke, M. Ernst, P. Taschner, J. Koch, P. Weßels, J. Neumann, E. Stoll, L. Overmeyer, **Laser Melting of Lunar Regolith Simulant under Different Gravity Conditions Using the Moonrise-Payload**. 8<sup>th</sup> European Lunar Symposium, 12.-14. Mai, online (2020).

J. Thiem, S. Spelthann, L. Neumann, F. Jakobs, H.-H. Johannes, W. Kowalsky, D. Kracht, J. Neumann, A. Rühl, D. Ristau, **Upconversion Nanocrystal Doped Polymer Fiber Thermometer**. Sensors 21 (20), 6048 (2020).

J. Thiem, S. Spelthann, L. Neumann, H.-H. Johannes, W. Kowalsky, D. Kracht, J. Neumann, A. Rühl, D. Ristau, **Laseraktive Nanokris-talle für Polymerfasern (POF)**. Tagungsband Drittes Deutsches POF-Symposium, 43-58 (2020).

S. Unland, S. Spelthann, J. Thiem, F. Jakobs, J. Kielhorn, P. Y. Ang, H.-H. Johannes, D. Kracht, J. Neumann, A. Rühl, W. Kowalsky, D. Ristau, **Hocheffiziente Rhodamin B dotierte Polymerfaserlaser**. Tagungsband Drittes Deutsches POF-Symposium, 31-42 (2020).

D. S. Vogt, S. Schröder, H.-W. Hübers, L. Richter, M. Deiml, M. Glier, P. Weßels, J. Neumann, **VOILA on LUVMI-X: Volatiles Detection in the Lunar Polar Region with Laser-Induced Breakdown Spec-troscopy**. Europlanet Science Congress, 21. September - 09. Oktober, online (2020).

D. S. Vogt, S. Schröder, H.-W. Hübers, L. Richter, M. Glier, G. G. Artan, P. Weßels, J. Neumann, **LIBS for volatile detection in the lunar polar region.** 51<sup>st</sup> Lunar and Planetary Science Conference, 16.-20. März, online (2020).

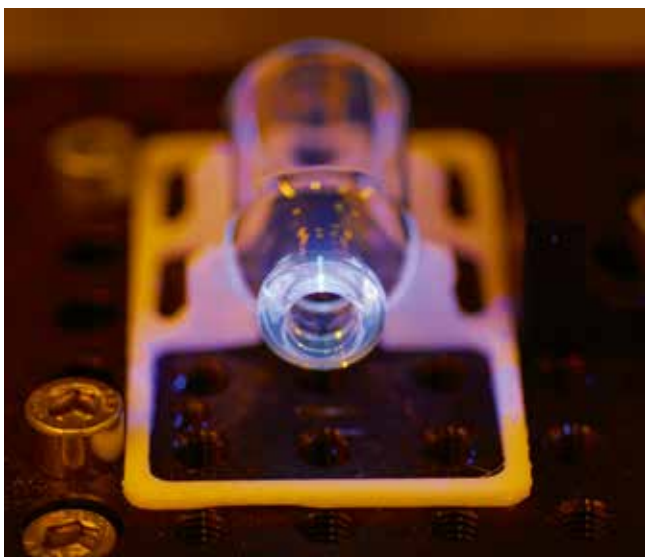
F. Wellmann, M. Steinke, F. Meylahn, N. Bode, B. Willke, L. Overmeyer, P. Weßels, J. Neumann, D. Kracht, **Low-noise, single-frequency 200 W fiber amplifier.** SPIE Proceedings Vol. 11260: Fiber Lasers XVII: Technology and Systems, 1126013 (2020).

F. Wellmann, M. Steinke, P. Weßels, N. Bode, F. Meylahn, L. Overmeyer, B. Willke, J. Neumann, D. Kracht, **Performance study of a high-power single-frequency fiber amplifier architecture for gravitational wave detectors.** Appl. Optics 26 (59), 7945-7950 (2020).

F. Wellmann, M. Steinke, P. Weßels, L. Overmeyer, J. Neumann, D. Kracht, **CO<sub>2</sub>-laser based manufacturing of a few-mode all-fiber evanescent field coupler.** Proceedings of the 9<sup>th</sup> EPS-QEOD Euro-photon virtual conference, Fr-M1.4 (2020).

M. Wyszomolek, B. Stepak, P. Wilk, A. Wasilewski, S. Wronka, M. Steinke, O. de Varona Ortega, P. Weßels, D. Kracht, J. Neumann, J. Glowinkowski, K. Tuck, M. Hill, U. Morgner, **Investigation of gamma radiation influence on active Er<sup>3+</sup>-doped optical fiber amplifiers.** SPIE Photonics West: LASE, 01.-06. Februar, San Francisco (2020).

M. Wyszomolek, P. Weßels, J. Neumann, U. Morgner, D. Kracht, **High power single frequency 2090-nm Ho<sup>3+</sup> doped MOPA.** SPIE Photonics West: LASE, 01.-06. Februar, San Francisco (2020).



## ABTEILUNG INDUSTRIELLE UND BIOMEDIZINISCHE OPTIK

M. V. Bauer, C. Marx, F. V. Bauer, D. M. Flury, T. Ripken, B. Streit, **Thermal weed control technologies for conservation agriculture – a review.** Weed Res., online (2020).

K. Bode, L. Nolte, H. Kamin, M. Desens, A. Ulmann, G. A. Bergmann, P. Betker, J. Reitmeier, T. Ripken, M. Stern, H. Meyer, G. Bicker, **Scanning laser optical tomography resolves developmental neurotoxic effects on pioneer neurons.** Sci. Rep. (10), 2641 (2020).

E. Grimm, D. Pflugfelder, J. Hahn, M. J. Schmidt, H. Dieckmann, M. Knoche, **Spatial heterogeneity of flesh-cell osmotic potential in sweet cherry affects partitioning of absorbed water.** Horticulture Research (7), 51 (2020).

S. Johannsmeier, **Respec - Refraktionsbestimmung mittels Speckle-Muster in der Augenheilkunde.** F.O.M.-Konferenz, 04. November, online (2020).

S. Johannsmeier, M. T. T. Nguyen, R. Hohndorf, G. Dräger, D. Heinemann, T. Ripken, A. Heisterkamp, **PEGDMA Hydrogels for Cell Adhesion and Optical Waveguiding.** ACS Appl. Bio Mater. 10 (3), 7011-7020 (2020).

S. Johannsmeier, J. Wenzel, M. L. Torres-Mapa, S. Junge, P. Sasse, T. Ripken, D. Heinemann, A. Heisterkamp, **Evaluation of a model for deep tissue optogenetic stimulation.** SPIE Proceedings Vol. 11227: Optogenetics and Optical Manipulation, 1122708 (2020).

S. Johannsmeier, J. Wenzel, M. L. Torres-Mapa, S. Junge, P. Sasse, J. D. Stockhausen, T. Ripken, D. Heinemann, A. Heisterkamp, **Light-cell interactions in depth-resolved optogenetics.** Biomed. Opt. Express 11 (11), 6536-6550 (2020).

A. Londenberg, F.-M. Bartels, J. Kpakpo Quaye, J. Boch, T. Ripken, D. Heinemann, **Targeted genome editing in potato protoplast via optical delivery of CRISPR/Cas9 ribonucleoproteins.** SPIE Proceedings Vol. 11345: Nanophotonics VIII, 1134527 (2020).

M. Zabic, B. Matthias, A. Heisterkamp, T. Ripken, **Open Source Optical Coherence Tomography Software.** Journal of Open Source Software 54 (5), 2580 (2020).

## ABTEILUNG PRODUKTIONS- UND SYSTEMTECHNIK

- S. Ahn, J. Kim, D. Lee, C. Park, C. Zander, S.-Y. Ji, W. S. Chang, **Enhancement of electrical conductivity during the femtosecond laser trimming process for OLED repair.** Opt. Lasers Eng., 106381 (2020).
- K. Bischoff, P. Quigley, A. Hohnholz, P. Jäschke, S. Kaielerle, **Generation of Laser-Induced Periodic Surface Structures on Different Glasses by a Picosecond-Pulsed Laser.** Procedia CIRP (94), 924-929 (2020).
- M. Desens, K. Wesang, A. Hohnholz, P. Jäschke, S. Kaielerle, L. Overmeyer, **Homogeneous annealing of TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> and ITO sol-gel layers with CO<sub>2</sub> laser.** Procedia CIRP (94), 905-909 (2020).
- H. Dittmar, **Laser statt Handarbeit.** Kunststoffe 2, 35-37 (2020).
- H. Dittmar, **Laser substitute manual work.** Kunststoffe international 5, 44-46 (2020).
- H. Dittmar, P. Jäschke, S. Kaielerle, L. Overmeyer, **A study of the effects of NIR laser radiation on interlaminar fracture toughness of CFRP.** Procedia CIRP (94), 895-900 (2020).
- H. Dittmar, J. Weiland, V. Wippo, A. Schiebahn, P. Jäschke, S. Kaielerle, U. Reisgen, L. Overmeyer, **Individualized and Controlled Laser Beam Pre-treatment Process for Adhesive Bonding of Fiber-Reinforced Plastics - Part II: Automatic Laser Process Control by Spectrometry.** Proc. International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO) (2020).
- S. Hirt, V. Wippo, P. Jäschke, S. Kaielerle, L. Overmeyer, **Laser-based welding for repair of thermoplastic CFRP composites.** Proc. International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO) (2020).
- G.-A. Hoffmann, Al. Wienke, T. Reitberger, J. Franke, S. Kaielerle, L. Overmeyer, **Thermoforming of planar polymer optical waveguides for integrated optics in smart packaging materials.** J. Mater. Process. Tech. (285), 116763 (2020).
- G. Hohenhoff, H. Meyer, P. Jäschke, T. Ripken, D. Kracht, S. Kaielerle, **Comparison of SLOT and  $\mu$ CT Investigation of 3D Printed Polymer Parts for Quality Assurance.** J. Laser Appl. 32, 022051 (2020).
- A. Hohnholz, K. Rettschlag, M. Desens, P. A. Taschner, L. Overmeyer, **Optics and Apparatus for CO<sub>2</sub> and CO Laser Micro-processing.** In: Handbook of Laser Micro- and Nano-Engineering. Cham, Springer Nature, 1-37 (2020).
- J. Kuklik, V. Wippo, P. Jäschke, S. Kaielerle, L. Overmeyer, **Laser Transmission Welding of Additive Manufactured Parts: Process Modifications to Reduce Cavities Inside the Weld Seam.** Procedia CIRP (94), 139-143 (2020).
- R. Lachmayer, K. Rettschlag, S. Kaielerle, **Konstruktion für die Additive Fertigung 2019,** Berlin, Heidelberg, Springer Vieweg (2020).
- O. Meier, R. Stähr, J. Kuklik, **Laser drilling of large carbon fiber structures using macro trepanning optics.** International Congress on Applications of Lasers & Electro Optics (ICALEO), 19.-22. Oktober, online (2020).
- K. Rettschlag, A. Hohnholz, P. Jäschke, D. Kracht, S. Kaielerle, R. Lachmayer, **Laser glass deposition of spheres for printing micro lenses.** Procedia CIRP (94), 276-280 (2020).
- K. Rettschlag, S. Kramprich, **Komplexe Strukturen aus Glas mit dem Laser in 3D drucken.** phi - Produktionstechnik Hannover Informiert, online (2020).
- K. Rettschlag, P.-P. Ley, F. Kranert, M. Hinkelmann, S. Kaielerle, R. Lachmayer, **Additiv gefertigte Glaskugellinsen für die Anwendung.** Konstruktion für die Additive Fertigung, 29. September, online (2020).
- H. S. Rezaei, G. Hohenhoff, P. Jäschke, S. Kaielerle, L. Overmeyer, **Design and fabrication of multilayer GRIN lenses by multi-material additive manufacturing for light coupling applications in planar optoelectronic systems.** SPIE Proceedings Vol. 11283: Integrated Optics: Devices, Materials, and Technologies XXIV, 112831K (2020).
- R. Stähr, V. Wippo, P. Jäschke, S. Steeger, M. Wonneberger, G. Hagen, C. Gensewich, C. Stolzenburg, S. Kaielerle, L. Overmeyer, **Laserbohren von Verbundwerkstoffen - Hochqualitativ und dabei effizient.** 10. IfW-Fachtagung „Prozesskette Bearbeitung von Verbundwerkstoffen“ (PKV), 30. November-13. Dezember, online (2020).
- R. Stähr, V. Wippo, P. Jäschke, M. Wonneberger, S. Steeger, G. Hagen, C. Gensewich, C. Stolzenburg, S. Kaielerle, L. Overmeyer, **Laser drilling of CFRP for aerospace applications – High quality and yet fast?** Proceedings of the International Conference & Exhibition on Thermoplastic Composites, 264-268 (2020).
- P. A. Taschner, J. Düsing, J. Koch, P. Jäschke, S. Kaielerle, L. Overmeyer, **Divide-and-conquer laser beam deflection system: fast, wide-ranging and flexible.** Laser-based Micro- and Nanoprocessing XIV (11268), 6 (2020).

J. Weiland, H. Dittmar, C. J. A. Beier, C. Ramesh, B. Marx, A. Schiebahn, P. Jäschke, L. Overmeyer, U. Reisgen, **Improvement of the adhesive bonding properties of a polyamide 6 injection molded fiber reinforced plastic component by laser beam pre-treatment.** Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 1-13 (2020).

J. Weiland, H. Dittmar, D. Liedtke, A. Birkenstock, B. Marx, A. Schiebahn, P. Jäschke, L. Overmeyer, U. Reisgen, **Individualized laser beam pre-treatment process for adhesive bonding of a polyamide 6 injection molded fiber-reinforced plastic component under the boundary conditions of automotive industry.** Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Industrial Applications of Adhesives (IAA 2020) 1, 56 (2020).

J. Weiland, B. Kunze, H. Dittmar, B. Marx, A. Schiebahn, P. Jäschke, L. Overmeyer, U. Reisgen, **Individualized and controlled laser beam pretreatment process for adhesive bonding of fiber-reinforced plastics - Part I: Optical detection of impurities on the component surface.** Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, 1-10 (2020).

Al. Wienke, G.-A. Hoffmann, J. Koch, P. Jäschke, L. Overmeyer, S. Kaielerle, **Ablation and functionalization of flexographic printing forms using femtosecond lasers for additively manufactured polymer-optical waveguides.** Procedia CIRP (94), 846-849 (2020).

Al. Wienke, G.-A. Hoffmann, J. Koch, P. Jäschke, L. Overmeyer, S. Kaielerle, **Surface functionalization of flexographic printing forms using a femtosecond laser for adjustable material transfer in MID prod.** SPIE Proceedings Vol. 11267: Laser Applications in Micro-electronic and Optoelectronic Manufacturing (LAMOM) XXV, 112670F (2020).

Al. Wienke, L. Lorenz, J. Koch, P. Jäschke, K. Bock, L. Overmeyer, S. Kaielerle, **Characterization and Functionalization of Flexographic Printing Forms for an Additive Manufacturing Process of Polymer Optical Waveguides.** J. Laser Appl. 33, 12017 (2020).

V. Wippo, S. Hirt, H. Dittmar, P. Jäschke, S. Kaielerle, L. Overmeyer, **Laser based repair of CFRP for the aerospace industry.** SPIE Proceedings Vol. 11273: High-Power Laser Materials Processing: Applications, Diagnostics, and Systems IX, 112730G (2020).

V. Wippo, C. Henkel, J. Kuklik, P. Jäschke, S. Kaielerle, **Laser Transmission Welding With A Multi-Focal Optic.** Proc. International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO) (2020).

## ABTEILUNG WERKSTOFF- UND PROZESSTECHNIK

A. Abel, Y. Wessargues, S. Julmi, C. Hoff, J. Hermsdorf, C. Klose, H. J. Maier, S. Kaielerle, L. Overmeyer, **Laser powder bed fusion of WE43 in hydrogen-argon-gas atmosphere.** Procedia CIRP (94), 21-24 (2020).

R. Bernhard, P. Neef, T. Eismann, H. Wiche, C. Hoff, J. Hermsdorf, S. Kaielerle, V. Wesling, **Additive manufacturing of LMD nozzles for multi-material processing.** Procedia CIRP (94), 336-340 (2020).

R. Bernhard, P. Neef, H. Wiche, C. Hoff, J. Hermsdorf, S. Kaielerle, V. Wesling, **Defect detection in additive manufacturing via a tool-path overlaid melt-pool-temperature tomography.** J. Laser Appl. 32, 22055 (2020).

R. Bernhard, P. Neef, H. Wiche, V. Wesling, C. Hoff, J. Hermsdorf, S. Kaielerle, **Additive manufacturing of coppermolybdenum pseudo-alloys.** SPIE Proceedings Vol. 11349: 3D Printed Optics and Additive Photonic Manufacturing, 113490C (2020).

I. Buchbender, C. Hoff, J. Hermsdorf, V. Wesling, S. Kaielerle, **Single-crystal height extension by Laser Metal Deposition of CMSX-4.** Procedia CIRP (94), 304-309 (2020).

T. Coors, M. Mildebrath, C. Büdenbender, F. Saure, M. Y. Faqiri, C. Kahra, V. Prasanth, A. Chugreeva, T. Matthias, L. Budde, F. Pape, F. Nürnberger, T. Hassel, J. Hermsdorf, L. Overmeyer, B. Breidenstein, B. Denkena, B.-A. Behrens, H. J. Maier, G. Poll, **Investigations on Tailored Forming of AISI 52100 as Rolling Bearing Raceway.** Metals - Special Issue „Hybrid Bulk Metal Components“ 10, 1363 (2020).

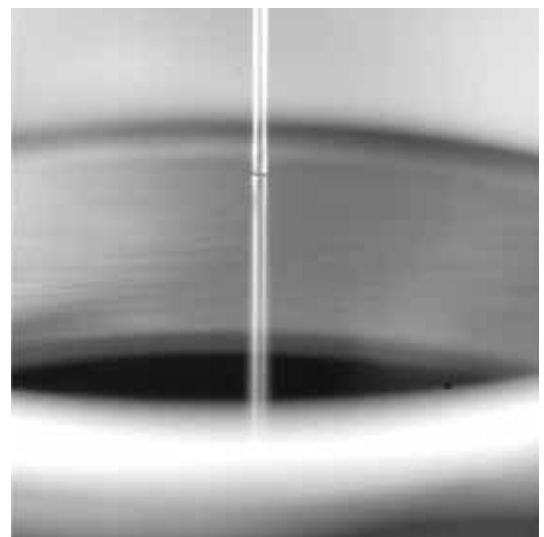
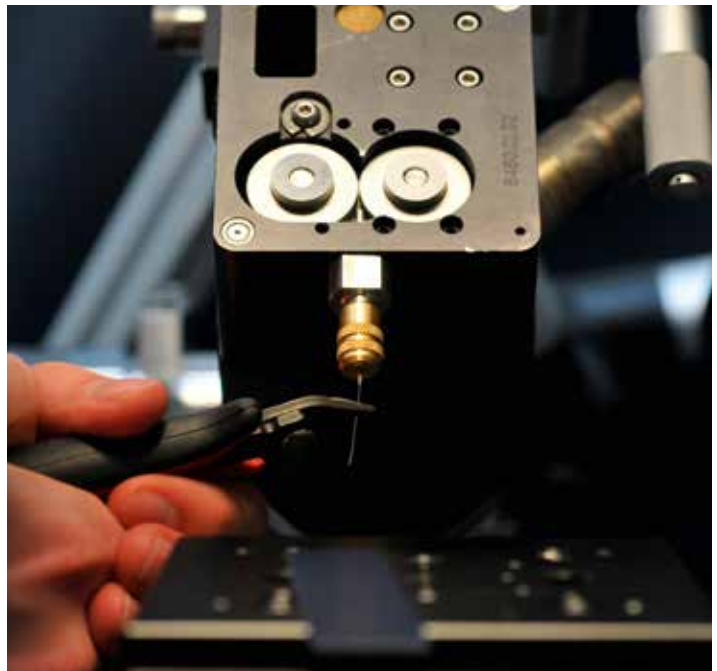
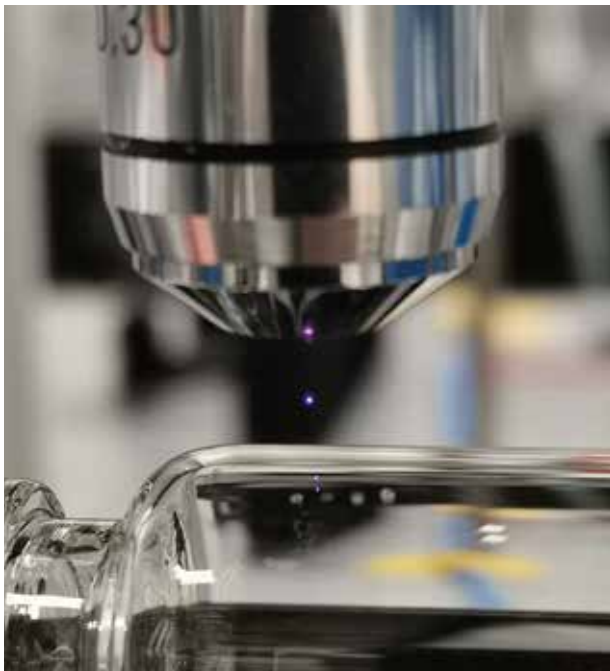
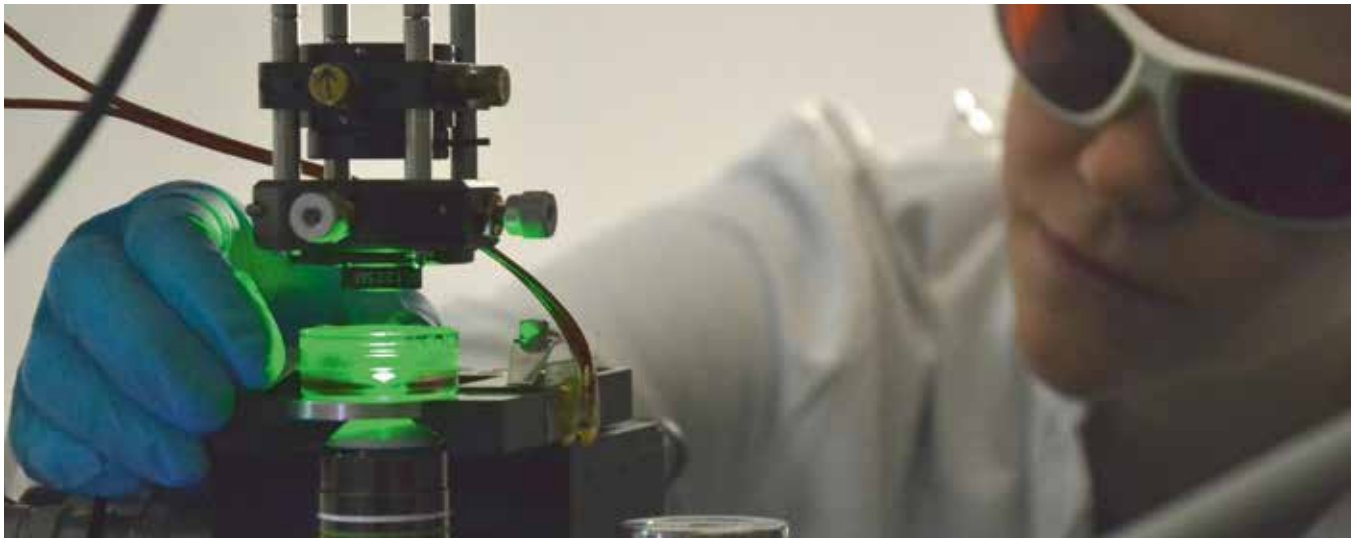
B. Denkena, A. Krödel, J. Harmes, F. Kempf, T. Griemsmann, C. Hoff, J. Hermsdorf, S. Kaielerle, **Additive manufacturing of metal-bonded grinding tools.** Int. J. Adv. Manuf. Tech. 5 (107), 2387-2395 (2020).

B. Emde, S. Spiekermann, M. Huse, J. Hermsdorf, J. Neumann, M. Frede, S. Kaielerle, **Double pulse laser induced breakdown spectroscopy at 600 bar water pressure.** Procedia CIRP (94), 791-795 (2020).

N. Emminghaus, C. Hoff, J. Hermsdorf, S. Kaielerle, **Laser Powder Bed Fusion of NdFeB and influence of heat treatment on micro-structure and crack development.** Procedia CIRP (94), 211-216 (2020).

N. Gerdes, C. Hoff, J. Hermsdorf, S. Kaielerle, L. Overmeyer, **Snapshot hyperspectral imaging for quality assurance in Laser Powder Bed Fusion.** Procedia CIRP (94), 25-28 (2020).

- J. Grajczak, S. Nothdurft, J. Hermsdorf, S. Kaieler, L. Overmeyer, **Investigations on pulsed laser beam welding of thin steel sheets in lap configuration over the face side/parallel joint.** Procedia CIRP (94), 680-685 (2020).
- J. Grajczak, C. Nowroth, S. Nothdurft, J. Hermsdorf, J. Twiefel, J. Wallaschek, S. Kaieler, **Influence of Ultrasound on Pore and Crack Formation in Laser Beam Welding of Nickel-Base Alloy Round Bars.** Metals 1299 (10), 4 (2020).
- C. Hennigs, M. Hustedt, A. Brodeßer, M. Brose, O. Meier, K. Bescherer-Nachtmann, J. Hermsdorf, S. Kaieler, **Realization of laser safety during outdoor laser material processing.** Proceedings of the 11<sup>th</sup> CIRP Conference on Photonic Technologies (2020).
- J. Hermsdorf, B. Emde, S. Spiekermann, M. Huse, J. Neumann, M. Frede, S. Kaieler, **Double pulse laser induced breakdown spectroscopy at 600 bar water pressure.** 11<sup>th</sup> CIRP Conference on Photonic Technologies (LANE), 07.-10. September, online (2020).
- S. Kaieler, S. Pamin, N. Gerdes, J. Hermsdorf, **Laser Micro Cladding.** Cham, Springer Nature, 1-13 (2020).
- J. Kruse, M. Mildebrath, L. Budde, T. Coors, M. Y. Faqiri, A. Barroi, M. Stonis, T. Hassel, F. Pape, M. Lammers, J. Hermsdorf, S. Kaieler, L. Overmeyer, G. Poll, **Numerical Simulation and Experimental Validation of the Cladding Material Distribution of Hybrid Semi-Finished Products Produced by Deposition Welding and Cross-Wedge Rolling.** Metals - Special Issue „Hybrid Bulk Metal Composites“ 10, 1336 (2020).
- M. Lammers, R. Bernhard, P. Neef, H. Wiche, C. Hoff, J. Hermsdorf, S. Kaieler, H. Ahlers, V. Wesling, **Koaxiales Laser-Pulver-Auftragschweißen mit zentraler Schweißgutzufuhr über ein Kapillarröhrchen zur Steigerung der Pulverausnutzung.** Konstruktion für die Additive Fertigung, 29. September, online (2020).
- M. Lammers, J. Hermsdorf, S. Kaieler, H. Ahlers, **Entwicklung von Laser-Systemkomponenten für das koaxiale Laser-Draht-Auftragschweißen von Metall- und Glaswerkstoffen,** Berlin, Heidelberg, Springer Vieweg, 245-260 (2020).
- J. Leschke, B. Emde, J. Hermsdorf, S. Kaieler, L. Overmeyer, **Controlling the kerf properties of underwater laser cutting of stainless steel with 3 mm thickness using an Yb:YAG laser source in nuclear decommissioning processes.** Procedia CIRP (94), 493-498 (2020).
- S. Nothdurft, H. Ohrdes, J. Twiefel, J. Wallaschek, J. Hermsdorf, L. Overmeyer, S. Kaieler, **Investigations on the effect of different ultrasonic amplitudes and positions in the vibration distribution on the microstructure of laser beam welded stainless steel.** SPIE Proceedings Vol. 11273: High-Power Laser Materials Processing: Applications, Diagnostics, and Systems IX, 112730J (2020).
- C. Nowroth, J. Grajczak, S. Nothdurft, J. Hermsdorf, J. Twiefel, S. Kaieler, J. Wallasch, **Introducing the concept of self sensing for ultrasonic assisted laser beam welding of 1.4301 stainless steel and 2.4856 nickel.** The 17<sup>th</sup> International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators, 22.-25. September, online (2020).
- L. Overmeyer, S. Wachsmuth, J. Hermsdorf, W. Reimann, **Novel method for dynamic strength testing of laser brazed joints.** Procedia CIRP (69), 241-244 (2020).
- J. S. Rinne, S. Nothdurft, J. Hermsdorf, S. Kaieler, **Laserstrahlschweißen von Stahl-Kupfer-Mischverbindungen zur Herstellung von Schwingungskompensatoren im Rohrleitungsbau.** Schweißen und Schneiden 5, 282-286 (2020).
- J. S. Rinne, S. Nothdurft, J. Hermsdorf, S. Kaieler, L. Overmeyer, **Advantages of adjustable intensity profiles for laser beam welding of steel copper dissimilar joints.** Procedia CIRP (94), 661-665 (2020).
- O. Seffer, S. Nothdurft, J. Hermsdorf, S. Kaieler, **Investigations on welding of several materials with adjustable intensity profiles: new approaches and findings.** SPIE Proceedings Vol. 11273: High-Power Laser Materials Processing: Applications, Diagnostics, and Systems IX, 112730I (2020).
- M. Tegtmeier, P. Fischer, **Zylinderlaufflächen effizient strukturieren.** phi - Produktionstechnik Hannover Informiert, online (2020).
- S. Wachsmuth, W. Reimann, S. Nothdurft, J. Hermsdorf, L. Overmeyer, **Dynamic strength of laser brazed joints.** Procedia CIRP (94), 610-615 (2020).
- J. Walter, T. Griemsmann, M. Hustedt, C. Hoff, J. Hermsdorf, S. Kaieler, **Minimieren der Gefahren durch Kontamination und Verschleppung im Arbeitsumfeld bei der laseradditiven Verarbeitung von Metallpulvern.** DVS Congress 2020 (365), 183-189 (2020).



# WIR FORSCHEN UND ENTWICKELN – FÜR IHREN ERFOLG

## UNSER ANGEBOT

Als wirtschaftsnahes Forschungsinstitut arbeiten wir herstellerunabhängig und vertraulich, um Innovationen in Ihr Unternehmen zu bringen oder mit Ihnen weiterzuentwickeln. Wir sind Spezialisten im Bereich Photonik und Lasertechnologie und zeichnen uns durch unseren interdisziplinären Ansatz aus. Wir unterstützen Sie entlang der gesamten Wertschöpfungskette: von einzelnen optischen Komponenten, über individuelle Lasersysteme hin zur Entwicklung von Prozessen und der dazugehörigen Prozesstechnik und -überwachung.

### Unser Ansatz

Wir arbeiten eng mit Ihnen zusammen und gehen ganz gezielt auf Ihre Herausforderungen und Ansprüche ein. Dabei sind eine fundierte Beratung und ein vertraulicher Umgang mit allen Informationen integraler Bestandteil unserer Arbeit. Profitieren Sie von unserer Erfahrung aus mehr als 30 Jahren, unserem Know-how aus aktuellen Forschungsprojekten sowie von unserer Anlagen- und Labor-Ausstattung. Die Erkenntnisse aus der gemeinsamen Arbeit bringen wir direkt in Ihre Produktion ein, begleiten die Umsetzung und auch Ihre weiteren Schritte.

Profitieren Sie ebenso von unserer langjährigen Erfahrung in der Drittmittelakquise: Wir identifizieren gemeinsam mit Ihnen geeignete Fördermittelangebote und unterstützen bei der Beantragung.

*Wir bieten Ihnen die Antworten auf alle Ihre Fragen rund um Forschung und Entwicklung im Bereich der Photonik und Lasertechnologie aus einer Hand.*

### Unsere Kunden

Unsere Kunden sind kleine und mittelständische Unternehmen, genauso wie Großunternehmen, oder sind ebenfalls Forschungsinstitute.

### Unser Netzwerk

Wir verfügen über ein starkes Netzwerk von Fertigungspartnern, Dienstleistern und anderen Forschungseinrichtungen in Niedersachsen, Deutschland und darüber hinaus.

## Auftragsforschung und Entwicklung

Sie benötigen eine Lösung für Ihre Herausforderung? Sie brauchen Unterstützung für Ihren Innovationsvorsprung vor Ihren Mitbewerbern? Wir entwickeln und verbessern Prozesse und Produkte individuell abgestimmt auf Ihre Bedürfnisse.

### Unser Themenspektrum

- Entwicklung und Optimierung von laserbasierten Prozessen und Systemen
- Entwicklung, Aufbau und Charakterisierung von Funktionsmustern sowie Prototypen
- Verifizierung von Systemen
- Entwicklung von Testmethodiken
- Zulassungsstudien medizinischer Produkte
- Transfer von forschungsnahem Wissen in Ihr Unternehmen



## Beratung

Eine fundierte, herstellerunabhängige Beratung ist unsere höchste Maxime. Daher ist sie immer Teil unseres Angebots, unabhängig davon, welche Leistung Sie abrufen. Sie kann natürlich auch separat beauftragt werden.

### *Unser Beratungsspektrum*

- Wirtschaftlichkeit
- Prozessoptimierung
- Prozessneuentwicklung
- Regulatory Affairs medizinischer Produkte, Zulassungsstudien
- Umsetzbarkeit Ihrer Ideen in der Fertigung
- Lasersicherheit

## Machbarkeitsstudien

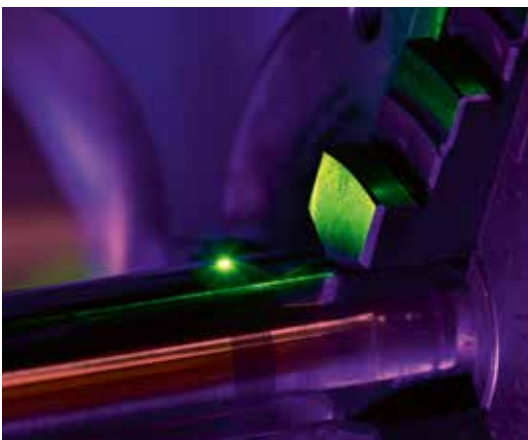
Wir prüfen für Sie in Machbarkeitsstudien, wie und ob sich Ihre Ideen in die Realität umsetzen lassen. Dafür stehen uns in unserem Versuchsfeld und in unseren Laboren ein umfangreicher Anlagenpark,

Laseraufbauten und vielfältige Analysemöglichkeiten zur Verfügung. An den Anlagen können wir Umsetzungsmöglichkeiten, Prozesse und Fertigungsschritte erproben und so eine robuste Datenbasis für Sie schaffen. Wir entwickeln Konzepte und identifizieren geeignete Umsetzungswege. Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudien transferieren wir gerne direkt in Ihre Produktion. Schaffen Sie sich mit unseren Machbarkeitsstudien eine solide Basis für Ihre Investitionsentscheidungen.

## Partner für Forschungsprojekte

Möchten Sie aktiv von innovativen Forschungsprojekten profitieren? Die Durchführung von Forschungsvorhaben lässt sich durch öffentliche Mittel fördern. Wir haben jahrzehntelange Erfahrung mit der Beantragung von Projekten und haben aktuelle Bekanntmachungen für Forschungsförderung immer im Blick.

Als Partner in einem Forschungsprojekt bearbeiten wir gemeinsam, eventuell auch mit Dritten, neue Herausforderungen. Die Erkenntnisse können Sie in Ihrem Unternehmen für innovative Prozesse und Produkte nutzen.





## Dienstleistungen

Vom Kleinauftrag bis zur kompletten Prozessentwicklung und -integration sind wir Ihr Partner für Forschung und Entwicklung, Fertigung und Beratung. In unserem Dienstleistungsportfolio finden Sie Prozesse und Analysen, die wir für Sie als Kleinaufträge durchführen. Dabei verstehen wir uns nicht als klassischen Dienstleister, sondern setzen bewusst den Fokus auf innovative Prozesse und individuelle Herausforderungen.

Ihr Vorteil: Wir lassen unser Know-how aus aktueller Forschung und Entwicklung in die Umsetzung einfließen.

### Fertigungsprozesse und Materialbearbeitung

Im Bereich der Lasermaterialbearbeitung entwickeln wir Prozesse und Prozesstechnik, integrieren diese direkt bei Ihnen oder fertigen vom Einzelteil bis hin zur Pilotserie. Wir beraten und unterstützen Sie von der ersten Idee bis hin zur fertigen Anlage bei Ihnen vor Ort.

#### Unser Materialspektrum

- Metalle
- Polymere
- Verbundwerkstoffe
- Gläser
- Biologische Materialien, Gewebe sowie Lebensmittel

#### Unser Themenspektrum

- Additive Fertigung/3D-Druck
- Fügen und Trennen
- Strukturieren
- Oberflächenbearbeitung
- Prozessüberwachung und Qualitätssicherung
- Steuerungs- und Systemtechnik
- Lasersicherheit

### Analysetechnik

Für viele Prozesse und Produkte ist eine hochwertige Analyse unerlässlich. Diese ist häufig bereits Teil des beauftragten Entwicklungs- und Beratungsprojekts. Sie kann aber auch unabhängig in Anspruch genommen werden, die fachgerechte Probenpräparation ist dabei inbegriffen. Untersucht werden können Metalle, Kunststoffe, Polymere und Gläser sowie biologisches Material.

#### Unsere Schwerpunkte

- 2D- und 3D-Bildgebung und (Online-) Bildanalyse
- Emissionsanalysen bei der Lasermaterialbearbeitung
- Materialuntersuchungen
- Prozessanalytik, -überwachung und -dokumentation



### Optische Komponenten

Im Bereich Optische Komponenten sind wir Entwicklungspartner für optische Elemente, Baugruppen und insbesondere Beschichtungen. Wir beraten bei Auslegung, Design, Materialwahl, Prozessselektion sowie -weiterentwicklung und stehen evaluierend und begleitend zur Seite. Durch Simulationen können wir Beschichtungsprozesse vorab optimieren und neue Konzepte detailliert überprüfen.

#### Unsere Schwerpunkte

- Optische Beschichtungen für Anwendungen in Forschung und Industrie
- In-situ-Prozesskontrolle und -analytik, insbesondere optisches Breitbandmonitoring
- Messdienstleistungen
- Messgeräteentwicklung
- Simulation von Beschichtungsprozessen
- Flexible Software-Tools für das Schichtdesign und die Prozessdatenanalyse

### Laserentwicklung

Das LZH entwickelt seit Jahrzehnten Festkörper- und Faserlaser sowie die dafür benötigten Laserkomponenten. Die Laser trotzen den rauen Bedingungen im Weltall und Unterwasser oder werden für hochspezifische Anwendungen in Forschung und Industrie genutzt. Wir entwickeln Laser nach sehr genauen Vorgaben und beraten bei der Umsetzung bis hin zum Technologietransfer. Dazu gehören auch umfangreiche Funktionstests.

#### Unser Themenspektrum

- Entwicklung und Machbarkeitsstudien für Festkörper- und Faserlaser sowie Faserkomponenten
- Charakterisierung von Lasern und optomechanischen Komponenten, Umwelttests

#### Ansprechpartnerin

Dipl.-Biol. Lena Bennefeld

Tel.: +49 511 2788-238, E-Mail: dienstleistungen@lzh.de

## SERVICEABTEILUNGEN

### Kommunikation

Dipl.-Biol. Lena Bennefeld

Tel.: +49 511 2788-238, E-Mail: l.bennefeld@lzh.de

### Technische Dienste

Dipl.-Ing. Frank Otte

Tel.: +49 511 2788-317, E-Mail: f.otte@lzh.de

### Verwaltung

Dipl.-Bw. (FH) Dirk Wiesinger

Tel.: +49 511 2788-140, E-Mail: d.wiesinger@lzh.de





**Wir forschen und entwickeln. Für Ihren Erfolg.**

**Laser Zentrum Hannover e.V.  
Hollerithallee 8  
D - 30419 Hannover**

**Telefon +49 511 2788-0  
Telefax +49 511 2788-100  
info@lzh.de  
www.lzh.de**

Gefördert von:



**Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft,  
Arbeit, Verkehr und Digitalisierung**