

# photonics

## FLASHLIGHT



12

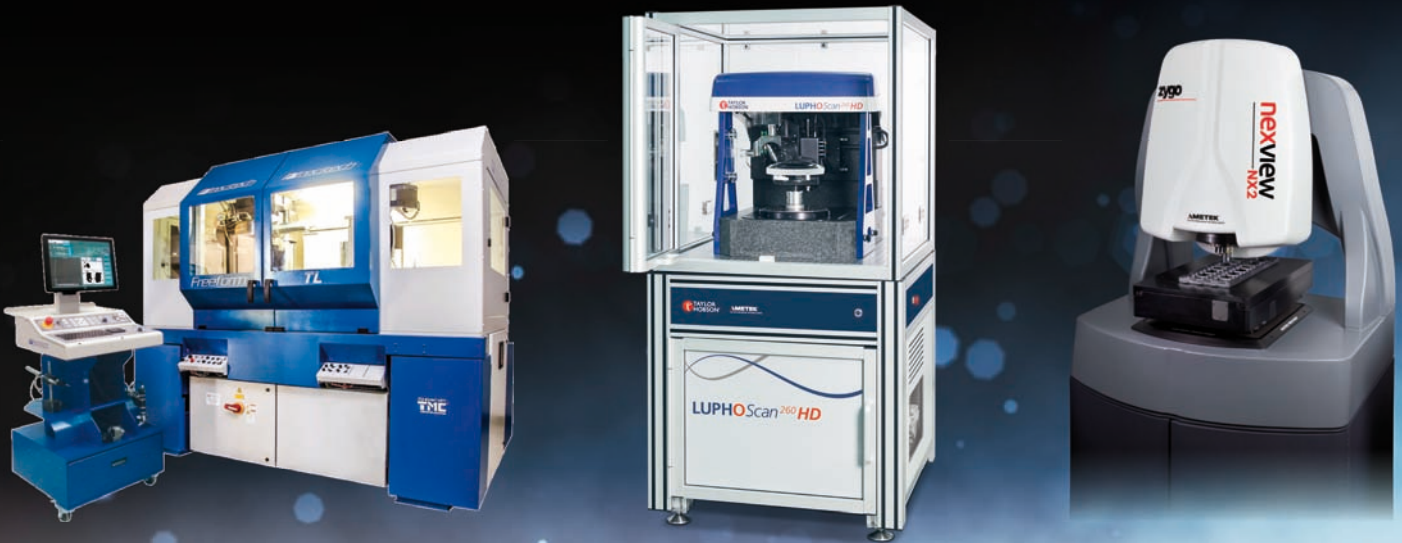
LEUCHTENDE,  
LED-BASIERTE  
ENDOTRACHEALTUBEN  
GEGEN PNEUMONIEN

35

AUTONOME  
SERVICEROBOTER  
IN ÖFFENTLICHEN  
RÄUMEN

42

TOPOGRAPHIE-  
MESSUNG MITTELS  
DIGITALER  
HOLOGRAPHIE



# Experten in Optikfertigung und Messtechnik

- Einfache Werkstückeinrichtung dank präziser Messung des Werkzeug-Offsets
- Berührungslose Messtechnik für schnelle und hochgenaue Messung ohne Beschädigung der Oberfläche
- Zuverlässige und vergleichbare Messergebnisse durch abgestimmte Lösungen mit AMETEK Ultrapräzisionstechnologie-Systemen

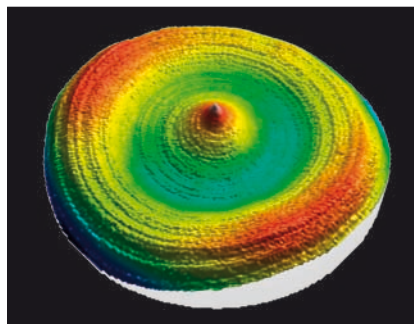
**Diamant  
Drehen**

**3D – Form-  
messtechnik**

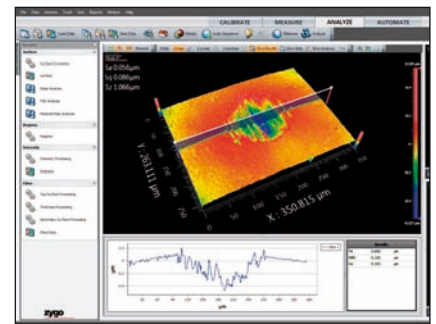
**Oberflächen-  
messtechnik**



Precitech's Nanoform X



Taylor Hobson's LUPHOScan HD



ZYGO's Nexview™ NX2

## Sehr geehrte Damen und Herren,

schön, dass Sie reinschauen, in unser neues Online-Magazin „*Photonics Flashlight*“. Ich hoffe und bin sicher, dass Sie neugierig sind auf das, was wir „auf die Beine gestellt“ haben.

„Für den ersten Eindruck gibt es keine zweite Chance“ – in diesem Sinne haben wir mit großem Engagement und Freude an der Sache auf die Erstausgabe hingearbeitet.

Wir haben eine Mischung von News aus verschiedenen Themenbereichen wie beispielsweise Forschung und Entwicklung, Technologie und Applikation oder Quantentechnologie für Sie zusammengestellt. Das „Salz in der Suppe“ sind die zahlreichen Fachartikel, die zeigen wie innovativ die deutsche Photonikbranche ist.



Daniela Reuter  
Geschäftsführerin  
Photonics Hub/  
Optence e.V.

## Warum machen wir „Netzwerker“ von Optence/Photonics Hub ein Online-Magazin?

Netzwerken ist (auch) der Austausch von Informationen. Wissen über Innovationen und Branchenentwicklungen sowie Wissen über Kompetenzen schafft Vorsprünge. Unsere Aufgabe sehen wir in der Unterstützung der deutschen Photonikbranche, daher haben wir als neuen Service für Sie „*Photonics Flashlight*“ an den Start gebracht.

Für „*Photonics Flashlight*“ haben wir mit dem Online-Magazin ein modernes, digitales Kommunikationsmittel gewählt, das unsere Umwelt weder in der Erstellung noch beim Versand unnötig belastet und außerdem günstige Anzeigenpreise möglich macht – denn: Gutes Marketing muss nicht teuer sein.

Ich bedanke mich herzlich bei allen, die noch vor der ersten Ausgabe darauf vertraut haben, dass wir eine gute Arbeit machen: bei den ersten Anzeigenkunden sowohl im Magazin als auch auf [www.photonics-flashlight.de](http://www.photonics-flashlight.de) und bei den Autoren der Fachartikel.

Mit dieser ersten Ausgabe des „*Photonics Flashlight*“ ist der Startschuss für ein vierteljährliches deutschsprachiges Informationsmedium gefallen. Sie sind herzlich eingeladen, Mitzuwirken und Mitzugestalten. News und Fachartikel, ob mit oder ohne Anzeigenbuchung, sind immer willkommen.

## Viel Spaß beim Lesen wünscht Ihnen

Daniela Reuter

Herausgeberin „*Photonics Flashlight*“  
Geschäftsführerin Photonics Hub/Optence e.V.

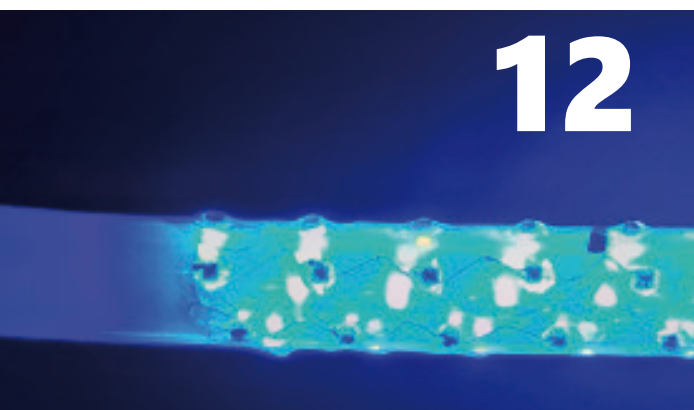
## BRANCHEN-NEWS

- 6** Applied Photonics 2021 erneut ausgeschrieben
- 6** BAM veröffentlicht Forschungen zur Kreislaufwirtschaft
- 6** ZEISS übernimmt Capture 3D und erweitert Kompetenz im Bereich 3D-Mess- und Inspektionslösungen
- 7** Führungswechsel in der PTB
- 7** Neuer Geschäftsführer bei Carl Zeiss Jena
- 8** CAM-SYS-4.0: Mikrooptiksysteme aus Kunststoff
- 8** Spektroskopie in der Präzisionslandwirtschaft – Freies Ebook von AVANTES
- 9** Neuer Studiengang: Digital Engineering Maschinenbau
- 9** Robotik-Endoskopie-Geschäft von Schölly: Übernahme zu Intuitive abgeschlossen
- 10** HUBER+SUHNER erwirbt wellenlängenselektive Switch-Technologie für die Automatisierung optischer Netzwerke
- 10** Prof. Tilman Pfau von der Universität Stuttgart erhält Advanced Grant für Spitzenforschung zur Quantenphysik
- 11** Lernende Systeme  
Die Plattform für Künstliche Intelligenz

## TECHNOLOGIE UND APPLIKATION



- 24** Vollständige Charakterisierung kleiner Optiken – optische Flächen, mechanische Referenzen und innere Zentrierung
- 28** Automatisierte Scratch-Dig-Inspektion
- 34** Autonome Serviceroboter in öffentlichen Räumen: Innovationen für die Human Robot Interaction (HRI)
- 42** Topographiemessung mittels digitaler Holographie auch an bewegten Objekten



12

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

**Leuchtende,  
LED-basierte  
Endotrachealtuben  
gegen  
Pneumonien**

## PERSONAL

---

- 49 Zukunft Photonik**  
Impulse für Personalentwicklung  
in der Photonikbranche

## PRODUKTNEUHEITEN

---

- 51** Data Coffee: Schneller und einfacher Zugriff  
auf Maschinendaten
- 51** SphereSpectro 150H – UV-VIS-IR  
Spektrophotometer
- 52** Short-Pulse-Testing für temperatur-  
sensitive High-Power-LEDs
- 53** Weißlichtquelle und IR-Emitter auf einem  
Chip
- 53** TRIOPTICS erweitert Produktportfolio im  
Bereich MTF-Messung
- 53** Xolographie als leistungsfähige neue  
Methode für den 3D-Druck

# 54

## START-UP

---

### Neue Photonik-Giganten aus Deutschland

Eine Pressemitteilung und ein Gespräch

## QUANTEN- TECHNOLOGIE

---

# 58

### Quanten halten Eingang in die Wirtschaft

---

- 62** Forschung an kompakten  
On-Chip-Photonenpaar-Quellen für die  
Quantentechnologie
- 62** Quanten-Shuttle zum  
Quantenprozessor
- 63** Chromatischer Lichtteilcheneffekt  
für die Entwicklung photonischer  
Quantennetzwerke

## INTERNATIONALE NEWS

---

- 64** Positionspapier von Photonics21 und  
Quantum Flagship zu QPICs
- 65** Photonics Center in Joensuu (Finnland)  
öffnet im Herbst 2021 seine Pforten

## 66 VERANSTALTUNGEN

---

## 68 PRODUKT- UND LIEFERANTEN- VERZEICHNIS

---

## 74 IMPRESSUM

---

APPLIED  
PHOTONICS  
AWARD

## Applied Photonics 2021 erneut ausgeschrieben

Der »Applied Photonics Award« wird er durch das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena verliehen. Um besonders originelle und innovative Abschlussarbeiten zu würdigen, die sich mit den Themen der Angewandten Photonik beschäftigen, wurde dieser Nachwuchspreis ins Leben gerufen.

Für den Applied Photonics Award 2021 sind alle Bachelor-, Master- und Diplomarbeiten sowie Dissertationen teilnahmeberechtigt, die im Jahr 2020 und 2021 an einer deutschen Universität oder Hochschule entstanden sind (Dt./Engl.), als bestanden gelten und sich durch eine besondere Relevanz im Bereich Angewandter Photonik auszeichnen. Die Bewerberinnen und Bewerber können aus verschiedensten Fachdisziplinen stammen - von der Mathematik oder Chemie über Angewandte Optik und Physik bis hin zu Material- oder Biowissenschaften.

> [Genauere Informationen zur Bewerbung](#)  
(einzureichende Unterlagen, Bewerbungsschluss 30. Juni)



## BAM veröffentlicht Forschungen zur Kreislaufwirtschaft

Green Economy ist ein Megatrend unserer Zeit. Ressourcenschonendes Wirtschaften und Recycling sind Gebote der Stunde. Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) ist in vielfältiger Weise auf dem Gebiet Circular Economy aktiv. Eine 52-seitige zweisprachige Publikation stellt jetzt die Forschungen der BAM zur Kreislaufwirtschaft vor. Das Spektrum reicht von der Gewinnung seltener Erden und Metalle aus industriellen Reststoffen wie Stäuben und Aschen über die Extraktion wertvoller Nährstoffe wie Phosphor aus Klärschlammmasche über das Recycling von Faserverbundstoffen. Die BAM zeigt, wie sich nachhaltige Baustoffe aus Abfällen produzieren lassen, wie Polymerwerkstoffe nachhaltig gemacht werden können.

> [Download Kreislaufwirtschaft – Sicherheit im Fokus, pdf, 5 MB](#)



## ZEISS übernimmt Capture 3D und erweitert Kompetenz im Bereich 3D-Mess- und Inspektionslösungen

ZEISS erweitert mit dem geplanten Erwerb von Capture 3D die Marktpräsenz der Sparte Industrial Quality & Research in den USA. Capture 3D ist in den USA der führende Vertriebspartner für optische 3D-Messtechnik von GOM. Der Hauptsitz des Unternehmens ist in Santa Ana, Kalifornien. Nach Abschluss der Transaktion wird Capture 3D Teil des strategischen Geschäftsbereichs Industrial Quality Solutions, der zur Sparte Industrial Quality & Research. Die Transaktion soll vorbehaltlich der Zustimmung der Behörden im Sommer 2021 abgeschlossen werden.

## Führungswechsel in der PTB

In der Führungsebene der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) steht ein wichtiger Personalwechsel an. Ab 1. Mai des kommenden Jahres wird die Physikerin Prof. Dr. Cornelia Denz von der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster die PTB leiten. Der derzeitige PTB-Präsident, Prof. Dr. Dr. h. c. Joachim Ullrich, der die Präsidentschaft seit dem Jahr 2012 innehat, scheidet dann altersbedingt aus.



> [Weitere Informationen](#)

## Neuer Geschäftsführer bei Carl Zeiss Jena



© Zeiss

Ab 1. August 2021 übernimmt Dr. Stefan Häberle den Vorsitz der Geschäftsführung der Carl Zeiss Jena GmbH und folgt damit auf Hellmuth Aeugle, der in den Ruhestand geht. Häberle ist damit gemeinsam mit Dr. Bernhard Ohnesorge für die Leitung der Carl Zeiss Jena GmbH verantwortlich. Das Unternehmen

ist die zentrale Servicegesellschaft für Produktionsleistungen der ZEISS Gruppe.

Dr. Stefan Häberle hat Mikrosystemtechnik studiert und promovierte anschließend in Ingenieurwissenschaften. Nach seiner Tätigkeit als Strategieberater bei der Boston Consulting Group kam er 2012 zu ZEISS und war zuletzt für das Supply Chain Management der Sparte Semiconductor Manufacturing Technology (SMT) verantwortlich. In dieser Rolle hat er die erfolgreiche EUV-Markteinführung maßgeblich unterstützt.

## OPTIK IST UNSERE ZUKUNFT



## LASEROPTIKEN von Edmund Optics®

Edmund Optics® bietet eine Vielzahl optischer Komponenten ideal für Laseranwendungen.

- ✓ **Modernste Messtechnik zur konsequenten Einhaltung der Spezifikationen**
- ✓ **Versandfertige Standardkomponenten & kontinuierliche Erweiterung des Portfolios**
- ✓ **Kundenspezifisches Design & Fertigung bis zur Serienproduktion**
- ✓ **Innovative Partner im Bereich High-End-LIDT-Technologien**

Erfahren Sie mehr über Laseroptiken von EO unter:

[www.edmundoptics.de/LO](http://www.edmundoptics.de/LO)

+49 (0) 6131 5700 0  
[sales@edmundoptics.de](mailto:sales@edmundoptics.de)

**EO** **Edmund**  
optics | worldwide



Kunststoff-Institut  
Lüdenscheld  
KIMW Management GmbH  
Karolinenstraße 8  
58507 Lüdenscheld



Ansprechpartner:  
Tobias Kammans  
Netzwerkmanager  
optische Technologien  
+49 (0) 15 16 7 33 28 24  
kammans@kimw.de

## CAM-SYS-4.0: Mikrooptiksysteme aus Kunststoff

Im Juni 2020 wurde vom Kunststoff-Institut Lüdenscheld das Netzwerk „CAM-SYS-4.0“ Mikrooptiksysteme aus Kunststoff erfolgreich gegründet. In der Phase I wurden der gemeinschaftliche Bedarf an Mikrooptiksysteme aus Kunststoff analysiert und Entwicklungslinien erarbeitet.

Trotz der Corona-Pandemie konnten alle Netzwerktreffen mit großer Beteiligung online durchgeführt und die technologische Ausrichtung des Netzwerkes erfolgreich abgeschlossen werden.

Für die 2jährige Laufzeit der Phase II, welche sich derzeit in der Antragsphase befindet und voraussichtlich in der zweiten Jahreshälfte beginnen wird, wurden bereits 25 Partner gefunden. Eine Teilnahme ist weiterhin noch möglich.

Schwerpunkt für die Phase II des Netzwerkes CAM-SYS-4.0 ist es, den erarbeiteten Bedarf an Mikrooptiksysteme aus Kunststoff in Forschungsprojekten zu überführen, weiter zu erarbeiten und Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Als Basis hierzu dient die in der Phase I, gemeinsam mit allen Netzwerkpartnern, erarbeitete Technologie Roadmap. Die Themen reichen von der Entwicklung eines Schnellwechselwerkzeuges für Mikrooptiken über eine spezielle Prozessvalidierung zur Fertigung solcher Optiken bis hin zur Entwicklung einer modularen Assemblierungsanlage für Mikrooptiksysteme aus Kunststoff.

Diese Entwicklungen können im Bereich verschiedener Anwendungen (wie etwa in der Telekommunikation für Kamerasysteme, in der Medizintechnik für die Endoskopie oder in der Automobilindustrie für das autonome Fahren) eingesetzt werden.



> [Weitere Informationen](#)

> [Zusätzliche Informationen zum Netzwerk finden Sie auf der Netzwerkhomepage \[www.cam-sys-4.0.de\]\(http://www.cam-sys-4.0.de\) oder direkt beim Netzwerkmanager.](#)



## Spektroskopie in der Präzisionslandwirtschaft – Freies Ebook von AVANTES

Für „Smart Farming“, also effiziente und umweltschonende Landwirtschaft unter Einsatz modernster Technologien, ist die Spektroskopie eine Kerntechnologie. In dem Ebook werden auf 65 Seiten die Einsatzmöglichkeiten geschildert: u. a. geht es um Fruchtereiung und Sortierung, Getreideproduktion und Analyse, Analyse von Pilzbefall, Bodenmanagement, Qualitätskontrolle von Eiern und Fleisch.

> [Registrierung zum Download des Ebooks](#)

## Neuer Studiengang: Digital Engineering Maschinenbau

Digitale Transformation und Industrie 4.0 sind aktuelle Herausforderungen für die Zukunftsfähigkeit von Unternehmen hin zu digitalen Fabriken, Produkten und Service-Systemen. Die Personalanforderungen aus den Fachbereichen haben sich in den vergangenen Jahren deutlich geändert.

An der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften in Wolfenbüttel startet zum Wintersemester 2021/2022 der Studiengang Digital Engineering Maschinenbau, der genau diese spezielle Mischung an Kompetenzen vermitteln soll.

Zu den Studienschwerpunkten gehören die digitale Produktentwicklung, Mechatronik wie Elektromobilität und Internet of Things sowie Smart Production. Die auf diese Art ausgebildeten Maschinenbauingenieure sind in der Lage, die virtuelle Produktentwicklung durch den Einsatz von Augmented oder Virtual Reality und der Simulation von Produkteigenschaften zu unterstützen, lange bevor der erste reale Prototyp gefertigt wird.

[> Weitere Informationen](#)



## Robotik-Endoskopie-Geschäft von Schölly: Übernahme zu Intuitive abgeschlossen

Im April 2021 hat die Überführung der Schölly Micro Optics GmbH in Biebertal zu Intuitive Surgical Optics GmbH stattgefunden. Damit ist die Übernahme des Robotik-Endoskopie-Geschäfts von Schölly zu Intuitive abgeschlossen.

Die Produktion von Mikrooptik in Biebertal blickt auf eine lange Geschichte zurück: Zunächst unter dem Namen Pridat gegründet, wurde das Unternehmen im Jahr 2006 von Schölly Fiberoptic mit Sitz in Denzlingen übernommen. In den vergangenen Jahren hat sich aus dem Lieferanten von Mikrooptik ein Kompetenzzentrum für hochkomplexe optische Systemlösungen für die Endoskopie entwickelt. Im Jahr 2019 hat das US-Unternehmen Intuitive das Robotik-Endoskopie-Geschäft von Schölly Fiberoptic mit Standorten in Emmendingen bei Freiburg, Biebertal und Worcester (USA) übernommen. In Biebertal sind 130 Mitarbeiter in der Produktion beschäftigt. Sie sind bereits seit 2019 offiziell Teil des Medizintechnikunternehmens Intuitive.

Intuitive verfügt über mehr als zwei Jahrzehnte Erfahrung als einer der führenden Anbieter für Technologien und Lösungen für roboter-assistierte minimalinvasive Eingriffe. Das Unternehmen entwickelt, fertigt und vermarktet das da Vinci-Chirurgiesystem, welches mit über 180 installierten Systemen in Deutschland, unter anderem in Kliniken der Region Mittelhessen, erfolgreich eingesetzt wird. Für diese Systeme entwickelt und produziert das Team am Standort Biebertal die opto-elektronischen 3D-Kameramodule.





## HUBER+SUHNER erwirbt wellenlängenselektive Switch-Technologie für die Automatisierung optischer Netzwerke

HUBER+SUHNER übernimmt ROADMap Systems Ltd., einem Technologie-Start-up mit Sitz in Cambridge (UK). Das Unternehmen entwickelt die nächste Generation der hochintegrierten wellenlängenselektiven Schaltertechnologie und wird in das Segment Kommunikation integriert.

Wellenlängenselektive Switches (WSS) werden in den heutigen optischen Transportnetzwerken in großem Umfang eingesetzt, um ein effizientes und transparentes Routing des optischen Datenverkehrs zu ermöglichen. Die begrenzte Funktionalität aktueller WSS-Komponenten schränkt jedoch die Skalierbarkeit von rekonfigurierbaren, optischen Add/Drop-Multiplexer (ROADM)-Architekturen ein, um zukünftige Netzwerkanforderungen erfüllen zu können.

ROADMap Systems entwickelt die nächste Generation von hochintegrierten WSS, die softwaredefinierte zweidimensionale Hologramme verwenden, um einzelne Lichtfarben zwischen Glasfasern zu steuern. Dadurch können Gerätehersteller und Service-Provider von neuen optischen Architekturen profitieren, die die Flexibilität und Ausfallsicherheit erhöhen und gleichzeitig die Kosten durch einen vereinfachten Netzbetrieb senken.



## Prof. Tilman Pfau von der Universität Stuttgart erhält Advanced Grant für Spitzenforschung zur Quantenphysik

Der Europäische Forschungsrat unterstützt die Forschung von Prof. Tilman Pfau mit einem ERC Advanced Grant für seinen neuen Ansatz zum Verständnis fermionischer Materie mit langreichweitigen Wechselwirkungen unter Verwendung innovativer Quantengasmikroskopie-Methoden. Die ERC Advanced Grants sind hoch angesehene Förderpreise, die an etablierte, führende Wissenschaftler\*innen vergeben werden, die in den letzten zehn Jahren bahnbrechende Forschungsleistungen erbracht haben. Ziel von Prof. Tilman Pfau ist ein tiefgreifendes mikroskopisches Verständnis der zugrundeliegenden Physik stark korrelierter fermionischer Quantenmaterie, deren Wechselwirkungen sich über Distanzen erstrecken, die nur mit neuen Mikroskopiemethoden aufgelöst werden können.

## Lernende Systeme – Die Plattform für Künstliche Intelligenz

Künstliche Intelligenz (KI) ist die nächste Stufe der Digitalisierung und kann den Menschen als wirksames Werkzeug unterstützen. In zahlreichen Branchen sind KI-basierte Anwendungen bereits im Einsatz oder befinden sich in einem fortgeschrittenen Projektstadium. Wie vielfältig die Anwendungsfelder von selbstlernenden Softwaresystemen sind und welchen Mehrwert sie versprechen, zeigt die laufend erweiterte KI-Landkarte der Plattform Lernende Systeme.

Über 1.000 KI-Anwendungen aus Deutschland sind unter <http://www.ki-landkarte.de> mittlerweile verzeichnet. Mehr als die Hälfte der auf der KI-Landkarte verzeichneten Anwendun-

gen basieren auf Datenmanagement und -analyse, über ein Drittel der Anwendungen nutzt Bilderkennung.

Zum Einsatz kommt KI aktuell insbesondere in Form von intelligenten Assistenzsystemen, als Software zur Vorhersage von Ereignissen (Predictive Analytics) sowie zur Automatisierung von Prozessen. Weitere wichtige Einsatzfelder selbstlernender Systeme sind Sensorik, Qualitätskontrolle sowie Wissens- und Ressourcenmanagement. Der Fokus der Wertschöpfung liegt insbesondere auf Forschung und Entwicklung, gefolgt von Produktion und Service / Kundendienst.

### ANZEIGE

## FROM THE INITIAL IDEA TO THE FINAL PRODUCT

Meopta is a leader in developing, manufacturing and assembling optical, optomechanical and optoelectronic systems.

- Semiconductor industry
- Industrial metrology
- Medical applications
- Digital projection
- Lithography systems
- Space program

ALL-  
IN-ONE  
SERVICE



EUROPEAN  
OPTICS  
since  
1933

The world high class manufacturer of optics, opto-mechanics and opto-electronics.  
Meopta - optika, s.r.o. Phone: +420 581 241 111 e-mail: meopta@meopta.com  
Meopta U.S.A., Inc. Office: +1 (800) 828 8928x405.  
[www.meopta.com](http://www.meopta.com)

**meopta**



# Leuchtende, LED-basierte **Endotrachealtuben** gegen Pneumonien

Beatmungsassoziierte Lungenentzündungen gehören zu den häufigsten Krankenhausinfektionen und verursachen nicht nur hohe Kosten für das Gesundheitssystem, sondern enden auch oft tödlich für den betroffenen Patienten. Mit neuen Endotrachealtuben, die von blauen oder violette LEDs beleuchtet werden, soll die Zahl dieser Fälle reduziert werden.

Autoren: Martin Heßling et al.

## Beatmungsassoziierte Lungenentzündungen

Nicht erst seit der Coronapandemie assoziiert man die künstliche Beatmung mit der Rettung von Menschenleben. Dazu erhält der Patient einen Endotrachealtubus (ETT), der wie in Abb. 1 dargestellt nach unten mit einer aufblasbaren Manschette abgedichtet ist. Diese Beatmung ist allerdings nicht ganz ohne Risiken. Besonders bei einer längeren Beatmungsdauer besteht u. a. die Gefahr, dass Pathogene im Speichelsekret außerhalb des Tubus, an diesem entlang bis in die Lunge wandern und sich dabei auch von der Manschette nicht aufhalten lassen. Dort lösen sie dann ggf. Lungenentzündungen bei den oft immungeschwächten Patienten aus, die sich nur schwer behandeln lassen und nicht nur höhere Kosten und einem längeren Krankenhausaufenthalt verursachen, sondern auch zum Tod des Patienten führen können<sup>1-4</sup>.

## Antimikrobielle Wirkung von sichtbarem Licht

Die hervorragenden Desinfektionseigenschaften von ultravioletter Strahlung (UV), besonders im kurzwelligen UVC-Bereich (200–280 nm), sind allgemein bekannt. Leider ist dieses UV-Licht aber auch mit einer potentiellen Schädigung menschlicher Zellen verbunden. Sichtbares Licht stellt dagegen für den Menschen eine deutliche geringere Belastung dar, kann aber bei ausreichender Dosis alle relevanten nosokomialen Erreger („Krankenhauskeime“) inaktivieren<sup>6</sup>. Die Wirkungsweise wird in Abb. 2 dargestellt: Mikroorganismen enthalten natürlicherweise sogenannte Photosensitizer (PS), wie Porphyrine und Flavine, die kurzwelliges sichtbares (blaues und violettes) Licht absorbieren und in Anwesenheit von Sauerstoff „reaktive Sauerstoffspezies“ (ROS) wie  $^1\text{O}_2$ ,  $\text{O}_2^{\cdot-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  und  $\text{HO}^{\cdot}$

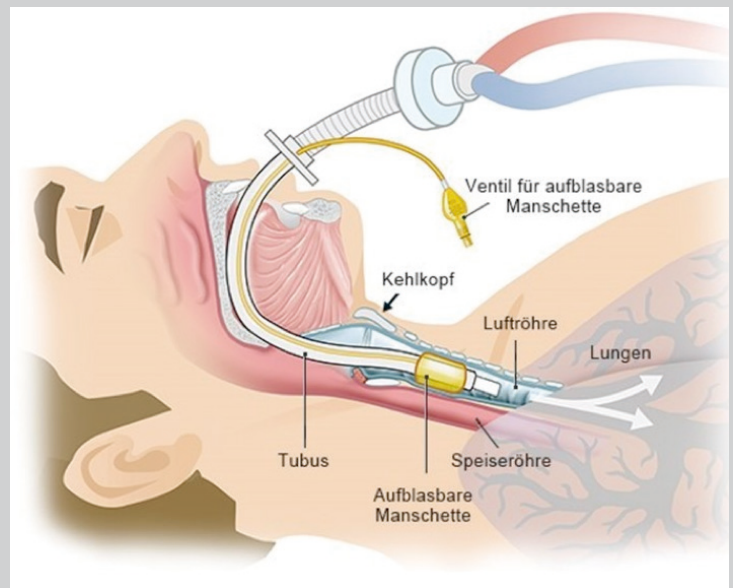


Abb. 1: Schematische Darstellung zum Einsatz eines Endotrachealtubus im Patienten (Darstellung mit freundlicher Genehmigung des Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen<sup>5</sup>)

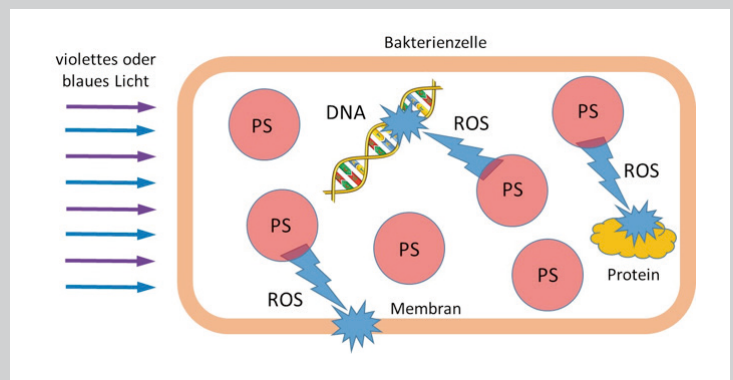


Abb. 2: Antimikrobieller Wirkungsmechanismus von blauem und violetttem Licht<sup>9</sup>

und generieren. Diese Radikale zerstören bakterielle Strukturen in ihrer Umgebung und führen damit zum Absterben der Bakterienzelle<sup>7,8</sup>.

Auf der Basis dieser antimikrobiellen Eigenschaften kurzwelligen sichtbaren Lichts entwickeln die Technische Hochschule Ulm und das Universitätsklinikum Ulm im Rahmen des BMBF-Projekts „LED-ETT“ verschiedene Ansätze für LED-basierte blau- und violett-leuchtende Endotrachealtuben, die verhindern sollen, dass pathogene Erreger in die Lunge gelangen.

## Tubus mit integrierten LEDs

Die Realisierung ist auf verschiedene Weise möglich. Die Grundlage bildet jeweils ein konventioneller, transparenter Endotrachealtubus (ETT) von Asid Bonz mit einem Durchmesser von 10 mm. In Abb. 3 ist dieser ETT mit 48 integrierten blauen 450 nm LEDs (Cree XQEROY-00-0000-000000Q01) dargestellt, die jeweils nach innen gerichtet sind und so das Tubusinnere und vor allem die gegenüberliegende Tracheawand (Lufröhre) homogen bestrahlen. Getestet wurde dieser blaue LED-ETT u. a. in Suspensionen mit *Staphylococcus carnosus*. Dabei handelt es sich um ein Bakterium, das mit dem Methicillin-resistenten *Staphylococcus aureus* (MRSA) verwandt ist, das einen Haupterreger von beatmungsassoziierten Lungenentzündungen darstellt. Die

Experimente wurden bei Raumtemperatur in einer phosphatgepufferten Salzlösung (PBS) durchgeführt, die sich um den Endotrachealtubus herum in einem zylindrischen Gefäß als Lufröhren-Ersatz – ähnlich wie in Abb. 3 – befand. Über einen Zeitraum von 12 Stunden wurden wiederholt Proben aus der Bakterienlösung entnommen und in verschiedenen Verdünnungsstufen auf Agar ausplattiert, um die Konzentration überlebender Bakterien bestimmen zu können. Bei einer durchschnittlichen Bestrahlungsstärke von  $6,6 \text{ mW/cm}^2$  wird eine 99,9%ige Bakterien-Reduktion (3 „Log-Stufen“) nach ca. 8 Stunden bzw. einer Bestrahlungsdosis von  $200 \text{ J/cm}^2$  erreicht<sup>10</sup>.

## Tubus mit LED-Beleuchtung über Lichtleiter

Alternativ zu LEDs im Tubus kann ein PMMA-Lichtleiter (Ilumae) im Tubusinneren platziert werden, der an seinem Ende über eine Länge von 80 mm seitlich Licht emittiert (wie auf dem Titelbild dargestellt). Das Titelbild zeigt dies für violette Strahlung, die von einer 405 nm Hochleistungs-LED (LG LEUVA66X00VV00) erzeugt und in den Lichtleiter eingekoppelt wird. Auch dieser Ansatz wurde mit Hilfe einer *Staphylococcus carnosus*-Lösung in dem Glastubus aus Abb. 3 auf seine antimikrobielle Wirkung getestet, indem über einen Zeitraum von 9 Stunden zu festgelegten Zeiten Proben entnommen und ausplattiert wurden. Um die Tests noch realistischer zu gestalten wurden sie hier bei der Körpertemperatur von  $37^\circ\text{C}$  in einem künstlichen Speichelmedium durchgeführt. Unter diesen Bedingungen und einer Bestrahlungsstärke von  $3,1 \text{ mW/cm}^2$  wurde eine 99,9 %ige Reduktion der Staphylokokken nach ca. 9 Stunden erreicht<sup>11</sup>. Dies entspricht wie in Abb. 3 dargestellt einer Bestrahlungsdosis von ca.  $100 \text{ J/cm}^2$ .



Abb. 3: links: Endotrachealtubus mit 48 integrierten blauen LEDs; rechts: LED-Tubus in Bakterien-Lösung in Glaszylinder (Lufröhren-Modell)

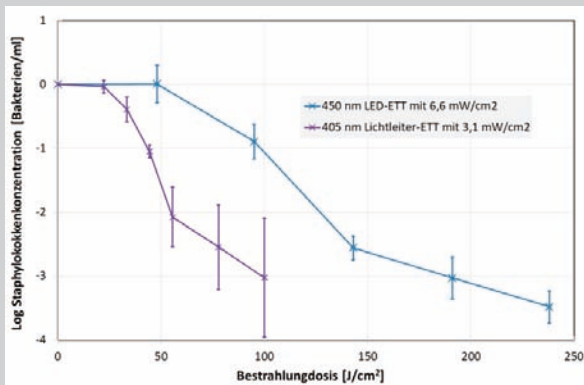


Abb. 4: Logarithmische Darstellung der relativen Konzentration von *Staphylococcus carnosus* in Abhängigkeit von der Bestrahlungsdosis bei der Bestrahlung mit blauem Licht in PBS bei 20 °C und mit violettem Licht bei 37 °C in einem synthetischen Speichelmedium. Jeder dargestellte Messpunkt ist das Ergebnis von mindestens 3 separaten Versuchsdurchgängen mit jeweils mindestens 3 ausgewerteten Agarplatten. Die Fehlerbalken stellen die Standardabweichung der separaten Versuche dar.

## In-vivo nach in-vitro

In weiteren, hier nicht dargestellten Versuchen konnte gezeigt werden, dass sichtbares Licht nicht nur wirksam gegen Staphylokokken ist, sondern zumindest im Labor gegen alle „ESKA-PE“-Erreger, d.h. gegen die gefürchteten Krankenhauskeime Enterokokken, Staphylokokken, Klebsiellen, Acinetobacter, Pseudomonaden und Enterobacter / *E. coli*<sup>6</sup>. Nach diesen erfolgreichen in-vitro Experimenten sind noch für 2021 Versuche im Tiermodell geplant. Sollten diese auch positiv verlaufen, könnten leuchtenden Endotrachealtuben auch bald am Menschen getestet werden und dann hoffentlich zu einer deutlichen Reduktion der beatmungsassoziierten Lungenentzündungen und besonders der damit verbundenen Todesopfer führen.

## Danksagung

Wir bedanken uns beim Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des wissenschaftlichen Vorprojekts LED-ETT (Förderkennzeichen 13N15140). Johannes Knaus und Ben Sicks haben für ihre LED-ETT-Entwicklungen den Innovationspreis der deutschen wissenschaftlichen Gesellschaft für Krankenhaustechnik 2019 bzw. den Applied Photonics Award 2020 des Fraunhofer Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik gewonnen.



Martin Heßling

Alle Abbildungen: Technische Hochschule Ulm

Martin Heßling<sup>1</sup>, Katharina Hönes<sup>1</sup>, Tobias Meurle<sup>1</sup>, Johannes Knaus<sup>1</sup>, Ben Sicks<sup>1</sup>, Richard Bauer<sup>2</sup> und Barbara Spellerberg<sup>2</sup>

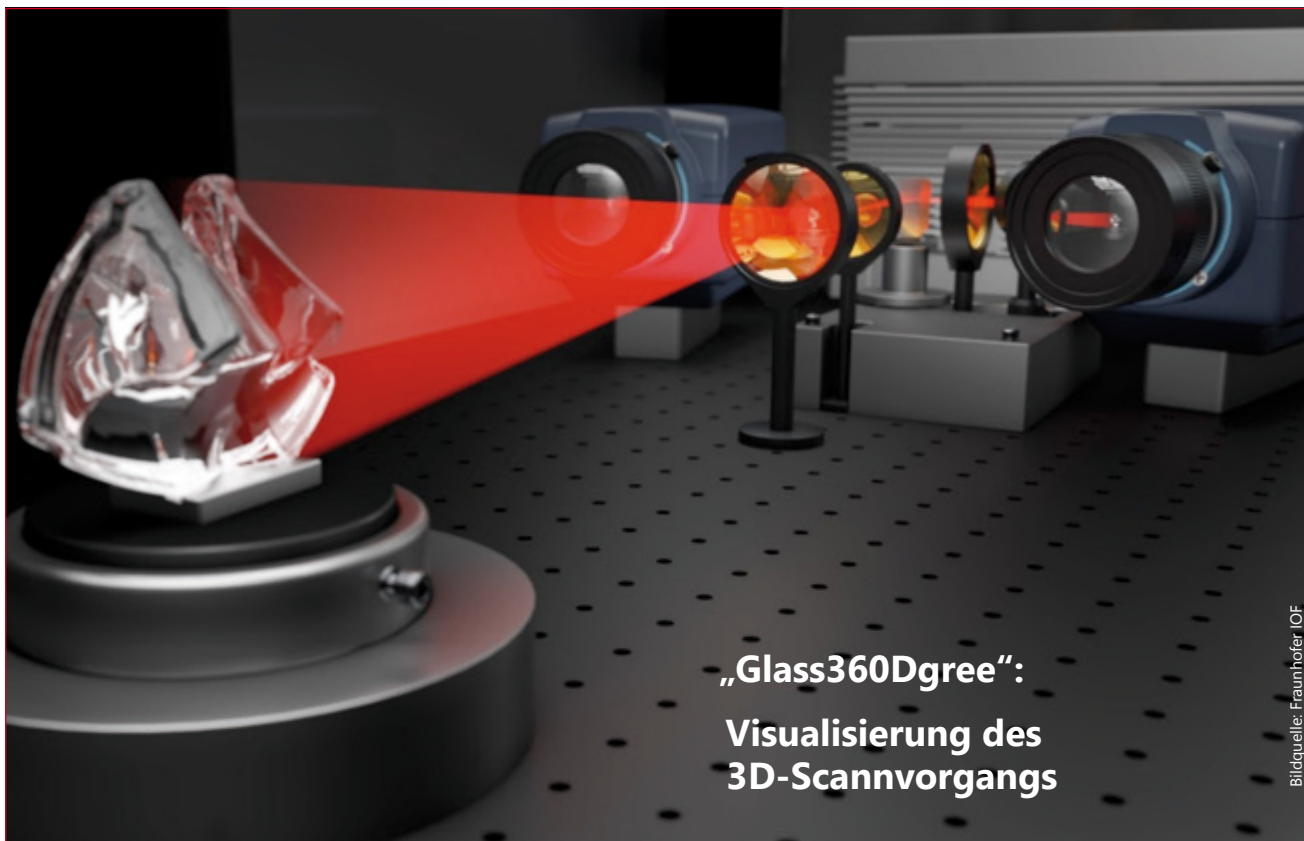
<sup>1</sup> Technische Hochschule Ulm, Institut für Medizintechnik und Mechatronik, Albert-Einstein-Allee 55, 89081 Ulm

<sup>2</sup> Universitätsklinikum Ulm, Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene, Albert-Einstein-Allee 11, 89081 Ulm

\* martin.hessling@thu.de

## REFERENCES

- [1] Zolfaghari, P. S. and Wyncoll, D. L. A., "The tracheal tube: gateway to ventilator-associated pneumonia," *Critical Care* (London, England) 15(5), 310 (2011).
- [2] Craven, D. E., Lei, Y., Ruthazer, R., Sarwar, A. and Hudcova, J., "Incidence and outcomes of ventilator-associated tracheobronchitis and pneumonia," *The American Journal of Medicine* 126(6), 542–549 (2013).
- [3] Restrepo, M. I., Anzueto, A., Arroliga, A. C., Afessa, B., Atkinson, M. J., Ho, N. J., Schinner, R., Bracken, R. L. and Kollef, M. H., "Economic burden of ventilator-associated pneumonia based on total resource utilization," *Infection Control and Hospital Epidemiology* 31(5), 509–515 (2010).
- [4] Waters, B. and Muscedere, J., "A 2015 Update on Ventilator-Associated Pneumonia: New Insights on Its Prevention, Diagnosis, and Treatment," *Current Infectious Disease Reports* 17(8), 496 (2015).
- [5] Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen, "Wie funktioniert die Beatmung bei einer Operation?," Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen, März 2021, <https://www.gesundheitsinformation.de/wie-funktioniert-die-beatmung-bei-einer-operation.html> (April 2021).
- [6] Hoeses, K., Bauer, R., Meurle, T., Spellerberg, B. and Hessling, M., "Inactivation Effect of Violet and Blue Light on ESKAPE Pathogens and Closely Related Non-pathogenic Bacterial Species – A Promising Tool Against Antibiotic-Sensitive and Antibiotic-Resistant Microorganisms," *Frontiers in Microbiology* 11, 612367 (2020).
- [7] Hessling, M., Spellerberg, B. and Hoeses, K., "Photoinactivation of bacteria by endogenous photosensitizers and exposure to visible light of different wavelengths – A review on existing data," *FEMS Microbiology Letters* 364(2), ffw270 (2016).
- [8] Hoeses, K., Bauer, R., Spellerberg, B. and Hessling, M., "Microbial Photoinactivation by Visible Light Results in Limited Loss of Membrane Integrity," *Antibiotics* (Basel, Switzerland) 10(3), 341 (2021).
- [9] Buehler, J., Sommerfeld, F., Meurle, T., Hoeses, K. and Hessling, M., "Disinfection Properties of Conventional White LED Illumination and Their Potential Increase by Violet LEDs for Applications in Medical and Domestic Environments," *Advances in Science and Technology Research Journal* 2021(15 (2)) (2021).
- [10] Sicks, B., Hoeses, K., Spellerberg, B. and Hessling, M., "Blue LEDs in Endotracheal Tubes May Prevent Ventilator Associated Pneumonia," *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery* 2020(38(9)) (2020).
- [11] Meurle, T., Knaus, J., Barbano, A., Hoeses, K., Spellerberg, B. and Hessling, M., "Photoinactivation of *Staphylococcus* with 405 nm Light in a Trachea Model with Saliva Substitute at 37 °C," *Healthcare* 9(3), 310 (2021).



## Neuer 3D-Sensor erfasst transparente Objekte

Eine neue Messmethode zur 3D-Formfassung wurde vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF entwickelt. Mit ihrem »MWIR-3D-Sensor« können sie Gegenstände dreidimensional scannen – ganz gleich, ob sie aus transparentem Kunststoff oder Glas bestehen. Selbst Objekte mit glänzend metallischen oder tiefschwarzen Oberflächen lassen sich problemlos erfassen. Auch die Kombination verschiedener Werkstoffe ist für den neuen 3D-Infrarot-Sensor kein Problem. Im Bereich der 3D-Sensorik ist dieses Maß an Flexibilität bei der Beschaffenheit der Messobjekte ein Novum. Anwendungen sind u.a. in den Bereichen Qualitätskontrolle in der Produktion und Robotik denkbar.

- > [Weitere Informationen](#)
- > [Videodemonstration des neuen Systems](#)

## Wichtiger Meilenstein auf dem Weg zu einem siliziumbasierten Laser

Ein internationales Team aus Wissenschaftlern des Leibniz-Instituts für innovative Mikroelektronik (IHP) konnte erstmals die THz-Lichtemission von Quantenstrukturen des n-Typs aus Germanium und Silizium nachgewiesen, das am häufigsten verwendete Material elektronischer Geräte.

Die Wissenschaftler werten dieses Ergebnis als den ersten realistischen Ansatz zur Realisierung eines neuartigen Quantenkaskadenlasers (QCL) für die THz-Lichtemission, der vollständig hergestellt und mit den Fertigungsverfahren üblicher mikroelektronischer Bauelemente zu geringen Kosten erzielt werden kann.

[> Weitere Informationen](#)



Leibniz Institute  
for high  
performance  
microelectronics

## Polylactid als High-Tech-Werkstoff für optische Bauteile einer Leuchte

Der Kunststoff Polylactid, kurz PLA, wird aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen und ist biologisch abbaubar. Anwendung findet der Polyester bislang vor allem in der Verpackungsindustrie, in der Herstellung von Bekleidungsfasern oder als Material, mit dem 3D-Drucker arbeiten. Forschenden an der Hochschule Hamm-Lippstadt (HSHL) ist es nun gelungen, PLA in einer Hightech-Anwendung zu nutzen. Im Forschungsprojekt „Renew-Opt“ entwickelten sie eine optische Linse als Polylactid, deren Verwendung auch direkt mit Hilfe einer Leuchte erprobt werden konnte. Damit werden für dieses Material erstmals auch Hightech-Anwendungen im Bereich der Optik denkbar, zudem wird so ein nachhaltiger Rohstoff für die Leuchtenindustrie erschlossen.

[> Weitere Informationen](#)

## Dresdner Forscher entwickeln neue Strategie für effiziente OLED-Aktiv-Matrix-Displays

In einer neuen Publikation in der Fachzeitschrift „Nature Materials“ stellen Forscherinnen und Forscher des Instituts für Angewandte Physik der TU Dresden ein neuartiges Bauelement-Konzept für hocheffiziente und energiesparende vertikale organische Leuchttransistoren vor. Mit der innovativen Bauteilarchitektur und Herstellungstechnologie ebnet das Team den Weg für eine breite Anwendung von effizienten OLED-Aktiv-Matrix-Displays.

Mit diesem neuartigen Bauelemente-Konzept eines organischen permeablen Leucht-Basistransistors (engl. Abk. OPB-LET) ist es den Forscherinnen und Forschern gelungen, die Funktion eines hocheffizienten Schalttransistors und einer organischen Leuchtdiode, wie sie üblicherweise in Aktiv-Matrix-Displays eingesetzt werden, zu kombinieren.

> Weitere Informationen

Originalpublikation:

<https://dx.doi.org/10.1038/s41563-021-00937-0>



## Neuartige Blutuntersuchung mittels Infrarotlicht

Die Zusammensetzung der Moleküle in unserem Blut ist einzigartig, vergleichbar zu einem Fingerabdruck eines Menschen. Verändert sich jedoch der Mix der Moleküle im Organismus könnte dies ein Hinweis darauf sein, dass er erkrankt ist. Voraussetzung einer solchen Diagnose ist es aber, vorab zu wissen ob der so genannte „molekulare Fingerabdruck“ eines Menschen im gesunden Zustand zuvor über längere Zeit stabil war. Eine solche Langzeitstabilität bei gesunden Personen hat nun das Team „Broadband Infrared Diagnostics“ (BIRD) um die Biologin Dr. Mihaela Žigman vom Lehrstuhl für Laserphysik von Prof. Ferenc Krausz am Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) und dem Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ) in der Zusammenarbeit mit der Medizinerin Prof. Dr. Nadia Harbeck vom LMU Klinikum mit Fourier-Transform Infrarotmessungen (FTIR) nachgewiesen. Die Forscher zeigten, dass die molekulare Zusammensetzung im Blut einzelner gesunder Personen über mehrere Monate stabil war und sogar individuell zugeordnet werden konnte.

> Weitere Informationen

# Neue Laser-Methode zur Herstellung von Nanomaterialien entwickelt

Ein interdisziplinäres Team vom Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung stellt im Fachmagazin Nature Communications erstmals eine Lasertechnologie vor, die es ermöglicht, Nanopartikel wie Kupfer-, Kobalt- und Nickeloxid herzustellen. Mit der üblichen Druckgeschwindigkeit entstehen auf diese Weise zum Beispiel Fotoelektroden für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen wie der Erzeugung von grünem Wasserstoff. Mit der am Institut

entwickelten Lasertechnologie können die Wissenschaftler\*innen geringe Mengen Material auf eine Oberfläche aufbringen und gleichzeitig mittels hoher Temperaturen des Lasers in kürzester Zeit eine chemische Synthese durchführen.

> Weitere Informationen:

<https://www.mpikg.mpg.de/pressemitteilungen>

> Originalpublikation:

<https://doi.org/10.1038/s41467-021-23367-7>

## ANZEIGE



### PLUG & PLAY LASER FOR MICROSCOPY

LaserNest

**NEW**



- 36 months of warranty
- Wavelength range from 375 ... 1550 nm
- Up to 500 mW per wavelength
- Fast analogue & digital modulation
- Integrated laser safety features

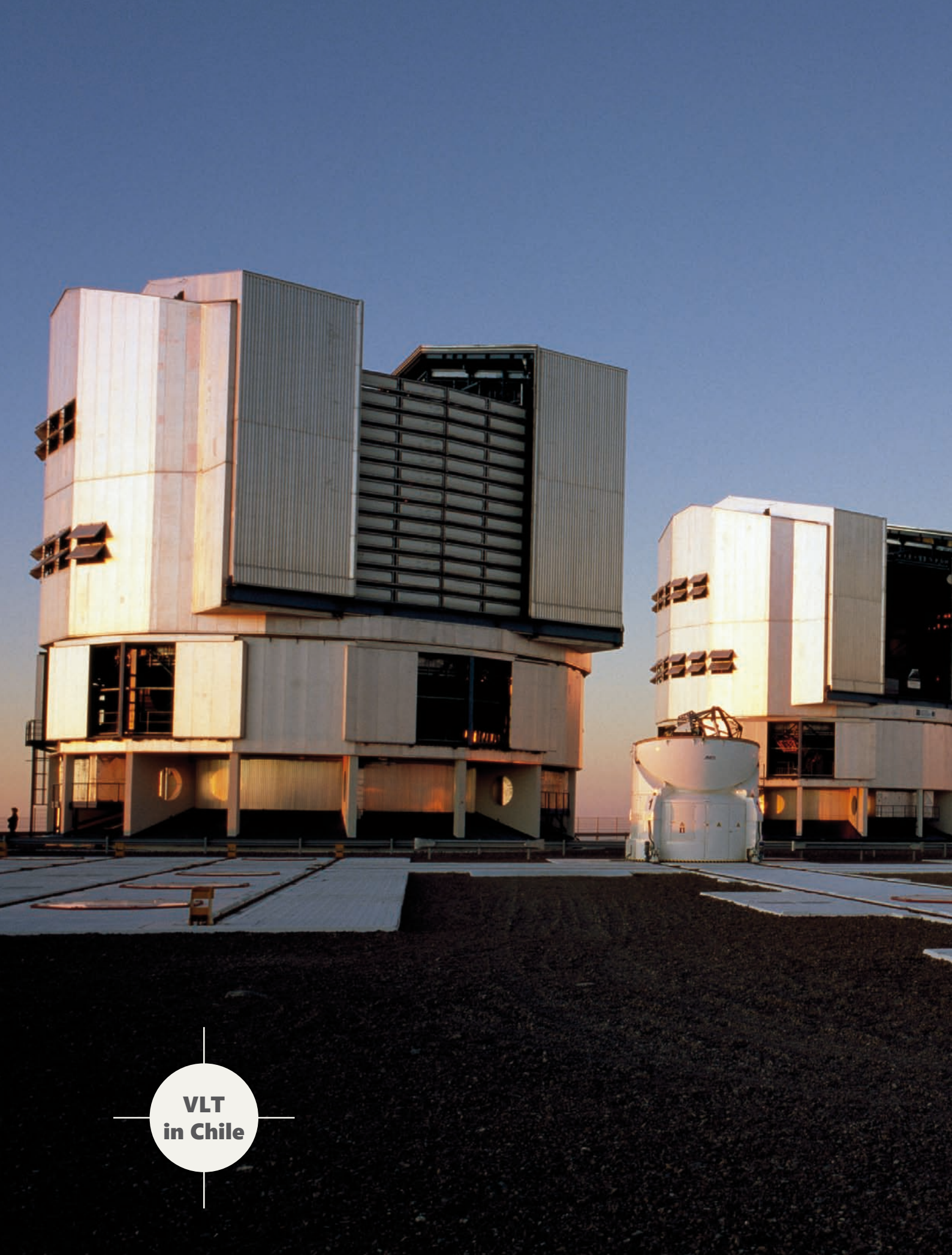
**Want to know more? Contact us!**



Omicron-Laserage  
Laserprodukte GmbH  
Raiffeisenstr. 5e  
63110 Rodgau  
Germany

Tel.: +49 (0)6106 8224 0  
Fax: +49 (0)6106 8224 10  
Mail: [sales@omicron-laser.de](mailto:sales@omicron-laser.de)  
[www.omicron-laser.de](http://www.omicron-laser.de)

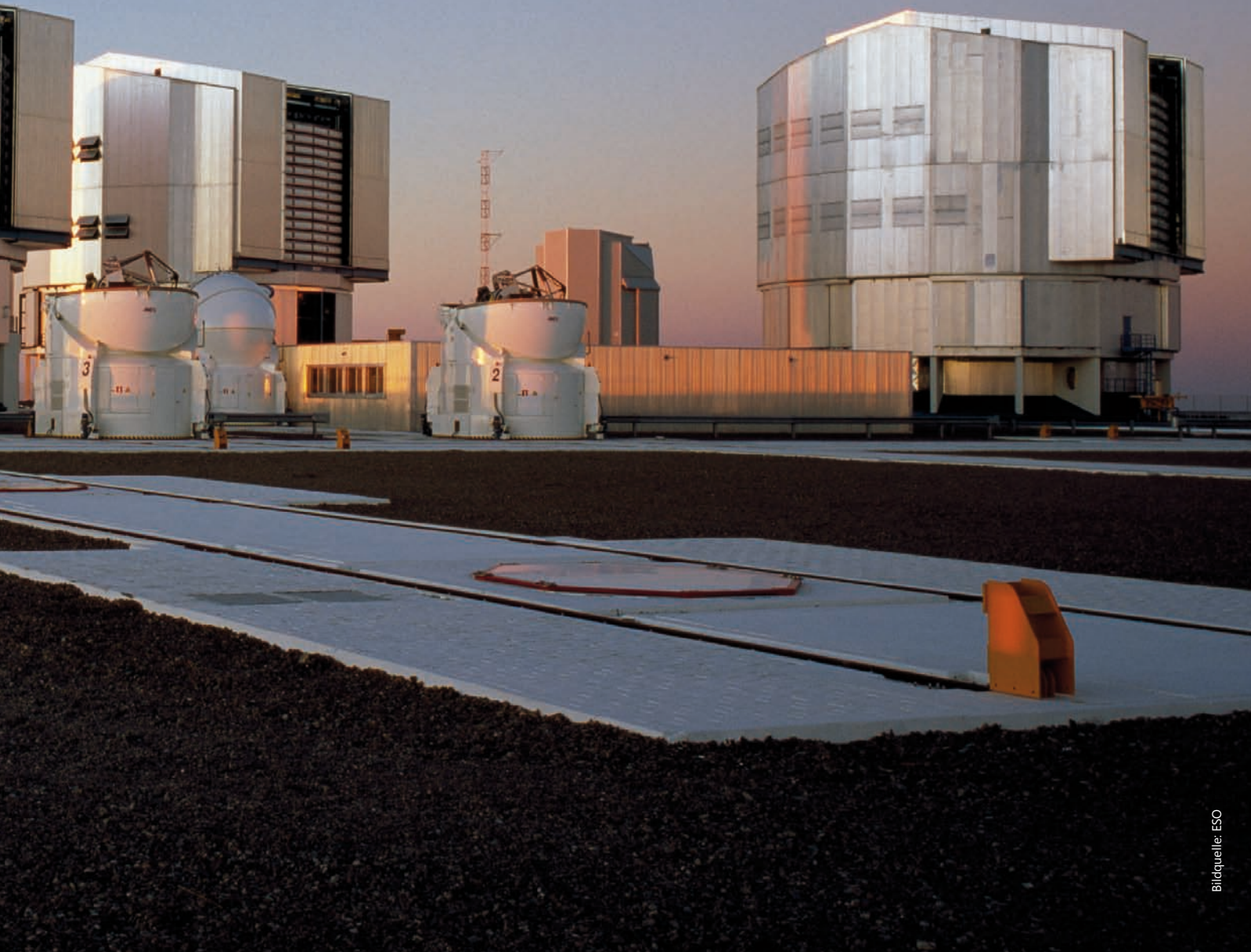




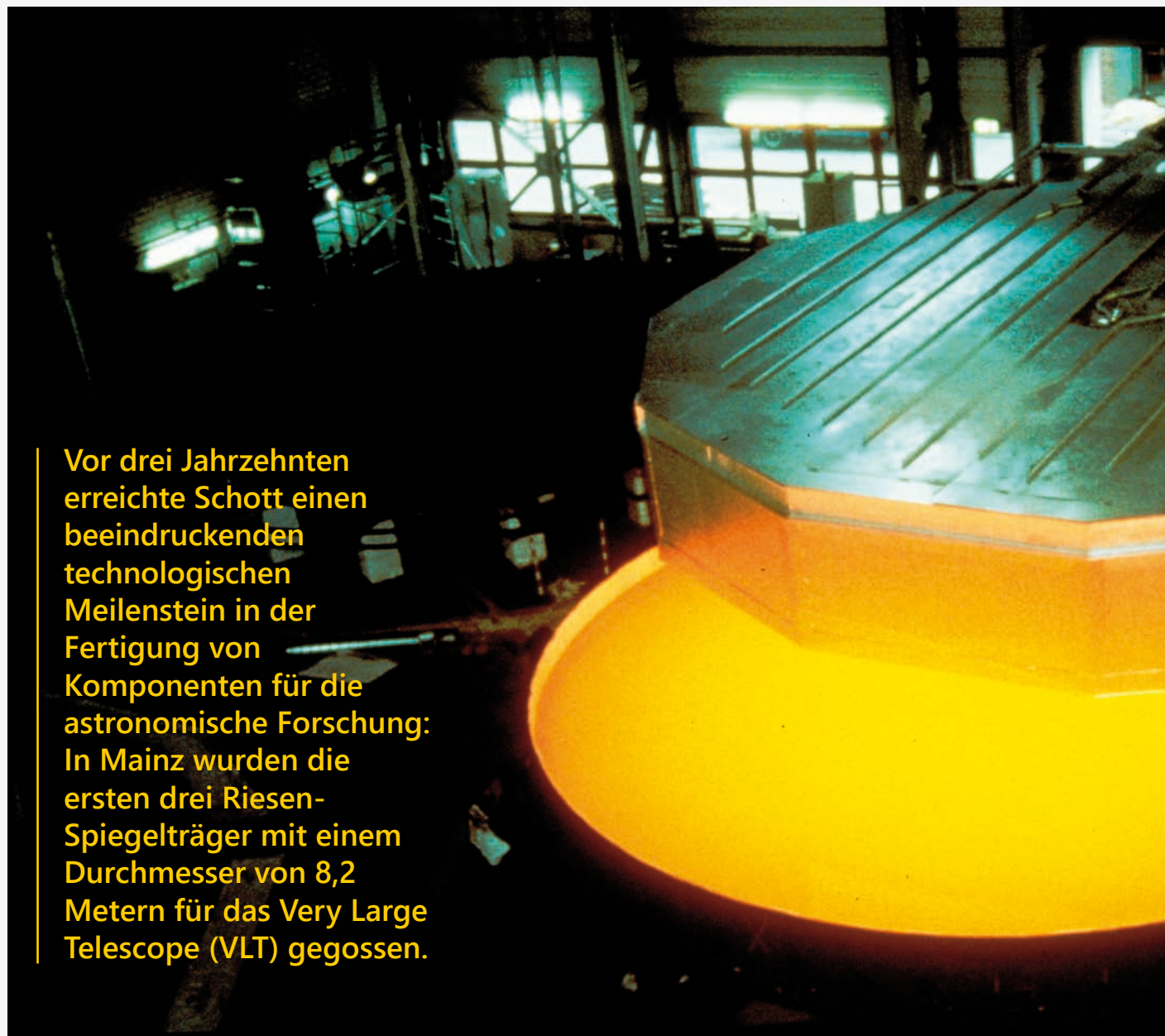
**VLT  
in Chile**

Vor 30 Jahren:

# Premiere-Guss für Riesenspiegel



Bildquelle: ESO

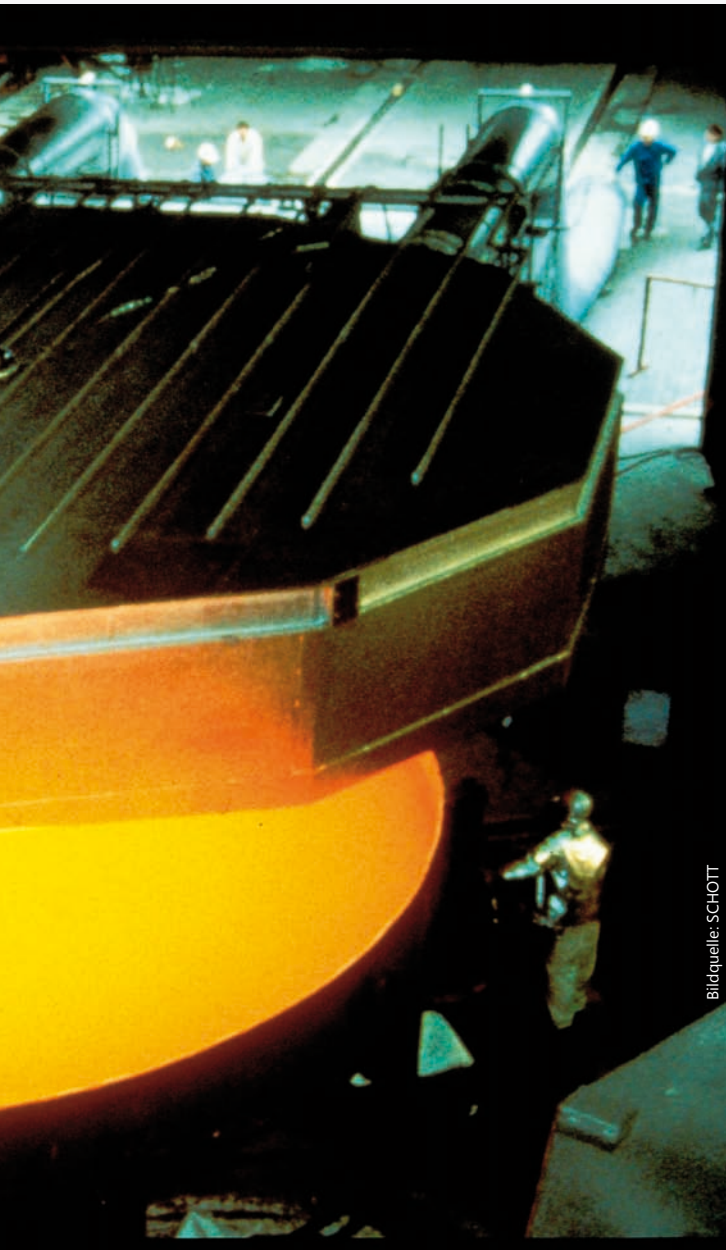


**Vor drei Jahrzehnten erreichte Schott einen beeindruckenden technologischen Meilenstein in der Fertigung von Komponenten für die astronomische Forschung: In Mainz wurden die ersten drei Riesen-Spiegelträger mit einem Durchmesser von 8,2 Metern für das Very Large Telescope (VLT) gegossen.**

**D**en Auftrag zur Fertigung erteilte die Europäischen Südsternwarte (ESO) im Oktober 1988. Um die größten jemals gegossenen Glasmonolithe herzustellen, baute SCHOTT speziell dafür ein Produktionsgebäude mit ausgeklügelter Infrastruktur. Denn die gigantischen Spiegelträger erforderten eine völlig neue Fertigungstechnologie, Ingenieure entwickelten hierfür das sogenannte Schleudergussverfahren.

Bei der neuen Technologie wurden 46 Tonnen schmelzflüssiges Glas in eine runde Gießform mit konkavem Bodenprofil gefüllt, die auf einer

Plattform mit sechs Umdrehungen pro Minute rotierte. Hierdurch generierten die Glasexperten eine konkave Oberfläche nahe der Endkontur. Nach Abkühlung erfolgte über mehrere Monate eine Temperaturbehandlung des Materials in riesigen Kühltöfen. Während dieses Prozesses entsteht aus Rohglas die Glaskeramik ZERO-DUR® mit der für sie typischen thermischen Ausdehnung nahe Null. Nach dem Schleifen der Spiegelemente waren die 8,2 Meter Substrate bei der Auslieferung nur noch 17,7 Zentimeter dünn. 1996 endete das große Technikabenteuer VLT bei SCHOTT mit einem enormen Gewinn



Bilddatei: SCHOTT

Produktion der 8 Meter Scheiben

an Know-how, von dem nicht nur weitere Astropjekte, sondern auch Anwendungen wie die Produktion von Mikrochips und Flachbildschirmen profitierten.

Waren es vor 30 Jahren die Riesenspiegelträger für das VLT, sind es heute Spiegelkomponenten für das Extremely Large Telescope (ELT), bei denen SCHOTT erneut Pionierarbeit leistet. Nachdem in den vergangenen Jahren bereits die Segmente für den M4, ein adaptiver Spiegel mit 2,4 m Durchmesser, der mit 4,25 Meter Durchmesser weltgrößte Konvexspiegelträger (M2), sowie ein weiterer Spiegelträger

der 4-Meter Klasse (M3) an den Auftraggeber ESO ausgeliefert wurden, produziert SCHOTT aktuell die Spiegelkomponenten für den riesigen 39-Meter-Primärspiegel. Insgesamt werden für „das größte Auge ins All“ 798 Rundscheiben mit 1,52 Meter Durchmesser (plus 133 Ersatzsegmente) gefertigt; die bei der Firma SAFRAN REOSC einem poliert und zu Hexagonen geschnitten werden. Die neue technologische Herausforderung für SCHOTT: Während es sich bei den 8-Meter-Spiegelträgern um Einzelfertigungen handelte, gilt es für das ELT-Projekt fast 1000mal identische Komponenten in exakt den geforderten Spezifikationen herzustellen, das heißt reproduzierbare höchste Qualität in Serie. Die ersten 100 Komponenten wurden Anfang 2021 von der ESO abgenommen und alle spezifikationsgerecht ausgeliefert. Die Auslieferung von im Schnitt einer Komponente pro Tag läuft bis Anfang 2024 kontinuierlich weiter. Das ELT soll in 2025 sein 'First Light' haben und neue Erkenntnisse über Exoplaneten und schwarze Löcher liefern.

Der thermische Ausdehnungskoeffizient von nahe Null von ZERODUR® ist extrem wichtig für die Teleskopoptik und scharfe Bilder aus dem All. ZERODUR® ist aus diesem Grund seit Jahrzehnten der Goldstandard für Spiegelträger zahlreicher astronomischer Teleskope der Superlative, auf der Erde oder im Weltraum.

[www.schott.com](http://www.schott.com)

Thomas Werner  
Head of ELT Project

# Vollständige Charakterisierung kleiner Optiken – optische Flächen, mechanische Referenzen und innere Zentrierung

Autor: Marc Wendel



[www.taylor-hobson.com.de](http://www.taylor-hobson.com.de)

Die Bildqualität von modernen Smartphone-Kameras und anderen miniaturisierten Systemen hat sich in den letzten Jahren enorm verbessert. Sie ist heute vergleichbar mit Kompaktkameras der Oberklasse. Zwei Faktoren ermöglichten diesen Trend: Ein schnell wachsender Erfahrungsschatz im Bereich des Spritzgussverfahrens für kleine Kunststoffoptiken reduzierte die Entwicklungszeit, aber auch die Verfügbarkeit hochpräziser Messtechnik führte zu besseren Fertigungsergebnissen. Auf diese Weise konnte die Formgenauigkeit kleiner optischer Elemente kontinuierlich optimiert werden. Darüber hinaus verbesserte die Einführung präziser geometrischer Merkmale, sogenannter „Interlocks“, auch die Bildqualität der Gesamtsysteme. Diese Interlocks ermöglichen eine einfache und gleichzeitig präzise Positionierung aller optischen Elemente eines Systems in einer Fassung („barrel“) bzw. relativ zueinander. Diese Technologie erlaubt die kostengünstige Massenproduktion kleiner, komplexer Linsensysteme mit hoher Abbildungsqualität.

Die für diese Anwendungen verwendeten kleinen Linsen sind in der Regel stark asphärisch, inklusive Wendestellen, und weisen große radiale Steigungen von bis zu 60° (oder gelegentlich auch mehr) auf. Daher wird eine präzise, und vor allem flexible, Messlösung zur Erfassung der gesamten optischen Fläche benötigt. Zusätzlich müssen zu Montagezwecke diverse Interlocks (eben oder konisch mit Steigungen von bis zu 80°) bzw. der absolute Durchmesser erfasst werden, um Position und Ausrichtung der optischen Achse zu den mechanischen Referenzen zu ermitteln. Diese beiden Aufgaben können in der Regel nur durch ein scannendes Messverfahren gelöst werden. Ein berührungsloser Ansatz wird hierbei aufgrund der zerstörungsfreien Messung der empfindlichen Kunststoffoptiken, sowie aus Gründen der Genauigkeit und Geschwindigkeit, gegenüber taktilen Ansätzen in der Regel bevor-

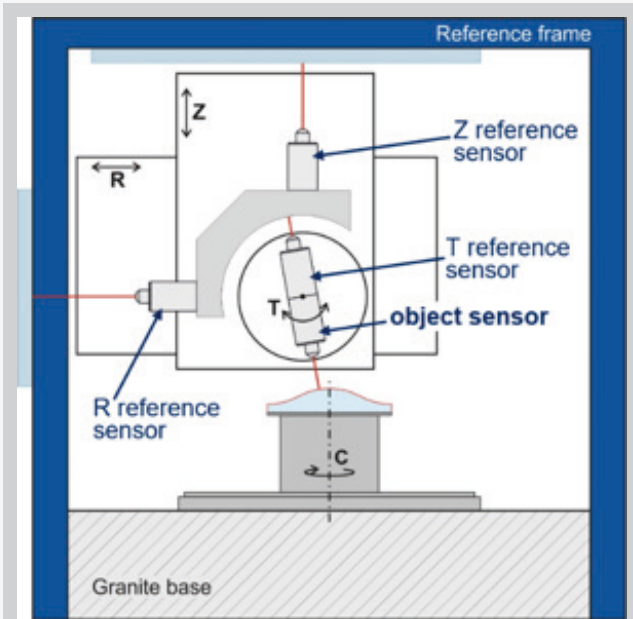


Abbildung 1: Drei Referenzsensoren erfassen die Bewegung der Linearachsen R und Z, sowie der Kippachse T. Die Luftlagerspindel C rotiert den Prüfling und ermöglicht die Messung auf einer Spiralbahn entlang der Designoberfläche des gesamten Objekts.

zugt. Während die zugehörigen Formwerkzeuge bereits mit einem berührungslosen scannenden Verfahren, welches im folgenden Abschnitt kurz erläutert wird, leicht charakterisierbar sind, waren die kleinen Optiken bisher schwieriger zu messen.

## Metrologie System auf MWLI-Basis

Interferometrische Punktsensoren können leicht Genauigkeiten innerhalb weniger Nanometer und Auflösungen im Pikometerbereich erreichen. Mit entsprechender Kollimation sind außerdem sehr große Messbereiche möglich. Allerdings ist man auf die Hälfte der verwendeten Wellenlänge als absoluten Messbereich begrenzt, wenn ein gewöhnliches Homodyn-Interferometer verwendet wird. Mehrwellenlängen-Interferometrie (MWLI) hingegen, verwendet mehrere unabhängige, diskrete Wellenlängen, die sich einen optischen Leiter teilen, und berechnet

aus den einzelnen Phaseninformationen eine synthetische Schwebungswellenlänge. Auf diese Weise können die sehr gute Auflösung, sowie der sehr große Messbereich von Homodyn-Interferometern mit einem um mehrere Größenordnungen erweiterten Eindeutigkeitsbereich kombiniert werden. Die Größe des erzielten Eindeutigkeitsbereichs entspricht der Hälfte der synthetischen Schwebungswellenlänge und kann mehr als 1 mm betragen.

Diese Sensortechnologie kommt exklusiv in den seit Jahren am Markt etablierten LupoScan Metrologie Systemen zum Einsatz. Abbildung 1 zeigt den Aufbau der Geräte: Zwei Linear- und eine Kippachse bewegen einen Objektsensor äquidistant und orthogonal zur Designoberfläche im Messvolumen und ermöglichen so einen direkten Soll-Ist-Vergleich zwischen Design und Prüfling. Das Zusammenspiel eines Metrologierahmens und dreier MWLI-Referenzsensoren kompensiert hierbei (durch geeignete Anordnung der Sensoren) jegliche Achsfehler erster Ordnung. Auf diese Weise ist eine hochpräzise und absolute Messung im gesamten Messvolumen möglich. Während des Scans entlang der Designform wird das Objekt mittels einer präzisen Luftlagerspindel rotiert, wodurch die gesamte Objekt Oberfläche auf einer Spiralbahn erfasst wird. Der Objektsensor, welcher auf der gleichen (lang-kohärenten) MWLI-Technologie basiert, erfasst dabei die Formabweichung des Prüflings.

## Einsatz von breitbandigen Lichtquellen

Bei Verwendung einer Breitbandlichtquelle für ein Interferometer unterscheiden sich Verhalten und Auswertung vom zuvor genannten lang-kohärenten Ansatz. Die breitbandige Lichtquelle geht mit einer sehr kurzen Kohärenzlänge einher. Mit einem klassischen Interferometer

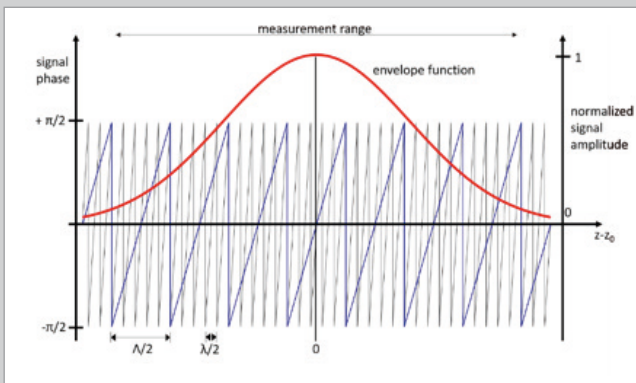


Abbildung 2: Kohärenzfunktion (Einhüllende) mit Phasenauswertung des Wellenlängenbandes und der synthetischen Schwebungswellenlänge. Der Messbereich wird durch die Hüllkurvenfunktion begrenzt.

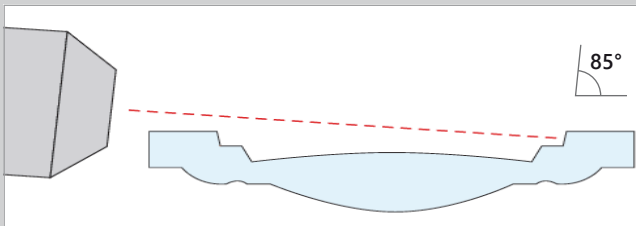


Abbildung 3: Messung eines konkaven, konischen Interlocks mit Beispieldaten. Die Einspritzrichtung des Spritzgussprozesses ist klar zu erkennen.

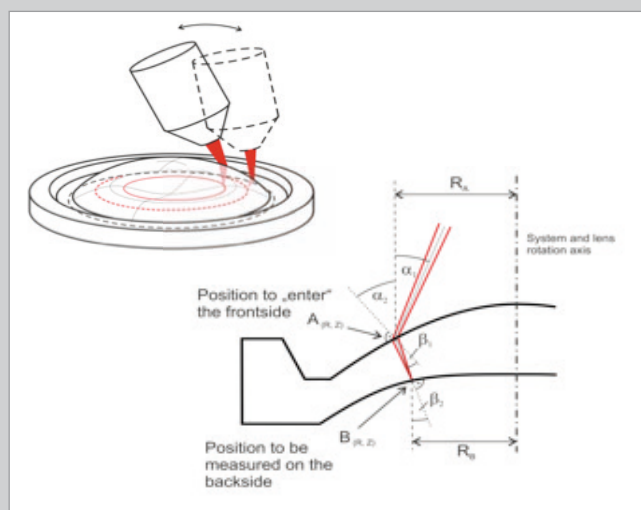
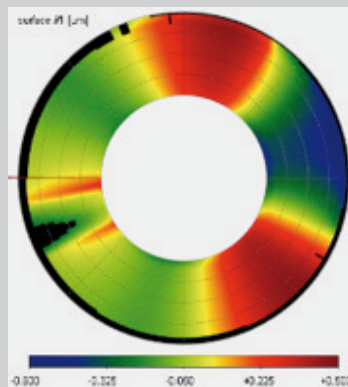


Abbildung 4: Messung der inneren Zentrierung durch die Linse hindurch. Anstellwinkel und Position des Messensors werden mittels Ray-Tracing automatisch berechnet.

Setup mit kurz-kohärenter Quelle kann das Licht vom Objekt- und Referenzpfad daher nur interferieren, wenn beide optischen Weglängen nahezu identisch sind. Durch die Auswertung der Einhüllenden der Kohärenzfunktion (siehe Abbildung 2), ist eine absolute Messung möglich, während die Phasenauswertung des Interferenzmusters eine hochauflösende Distanzmessung erlaubt. Analog zu den Diskussionen oben, kann die Abstandsmessung mittels Phasenauswertung des Interferenzmusters durch die Verwendung von mehr als einer Wellenlänge optimiert werden: Die Auswertung mehrerer breitbandiger Wellenlängenbereiche ermöglicht die Berechnung einer synthetischen Schwebungswellenlänge. Neben einer höheren Robustheit sind absolute Messungen in einem Bereich von bis zur halben Schwebungswellenlänge  $\Lambda$  möglich (siehe Abbildung 2). Dennoch ist die Hüllkurvenfunktion, d.h. der Arbeitsbereich, in dem Störungen z.B. durch Rückseitenreflexe dünner Objekte möglich wären, auf ca. 100  $\mu\text{m}$  begrenzt. Diese Eigenschaft ermöglicht die Messung von dünnen transparenten Objekten.

Behält man das vorgestellte Referenzprinzip (Abbildung 1) mit seinen lang-kohärenten Referenzsensoren bei, ersetzt jedoch den Objektmesskopf durch einen kurz-kohärenten MWLI Sensor, so sind hochpräzise und absolute Messungen nun auch an dünnen und kleinen Objekten möglich.

## Mechanische Referenzen

Zusätzlich zur vollflächigen Vermessung der optischen Flächen können auch mechanische Referenzen („Interlocks“) in der gleichen Aufspannung erfasst werden. Neben einfachen Planflächen und dem Randzylinder sind auch konische Interlocks messbar (siehe Abbildung 3). Dank des auf 7.5 mm vergrößerten Arbeitsabstands, stellen hierbei selbst konkave Interlocks

mit bis zu 85° Steigung keine Schwierigkeit dar. Dank der absoluten Messfähigkeit des Systems liegt die Messgenauigkeit (z. B. für eine absolute Durchmesser-messung) bei unter 0.1 µm.

Die Messung aller Interlocks erfolgt voll-automatisiert im Anschluss an die Oberflächen-messung und kann als zirkulares Profil oder als flächige Messung (Abbildung 3, rechts) durchgeführt werden. Alle gängigen Parameter, wie z. B. Rundheit/Zylindrizität, Ebenheit, Konuswinkel oder Durchmesser, werden ausgewertet, sowie die jeweilige Lage (Verkipfung und Dezentrierung) der Interlocks zur optischen Achse berechnet. Die Kombination mehrerer Interlocks, z. B. Planfläche (Verkipfung) und Randzylinder (Dezentrierung) bzw. mehrere Messungen auf dem Randzylinder, ermöglichen außerdem die Berechnung einer virtuellen mechanischen Achse im Raum, welche ebenfalls mit der optischen Achse verglichen werden kann.

## Innere Zentrierung

Neben der vollflächigen Messung der beiden optischen Flächen, inklusive der jeweils zugehörigen mechanischen Referenzen, ist auch die Verkipfung und Dezentrierung von Vorder- zu Rückseite eines optischen Elements (oft als „innere Zentrierung“ bezeichnet) wichtig für eine gute Abbildungseigenschaft. Der vorgestellte kurz-kohärente MWLI-Ansatz ermöglicht, dank des interferometrisch begrenzten Messbereichs (siehe Abbildung 2), eine klare Trennung der beiden optischen Flächen. Nach der vollflächigen Messung der Vorderseite inklusive der Interlocks, wird mittels Ray-Tracing die optimale Position (senkrecht und im Fokus des Sensors) zur Messung der Rückseite durch die Linse hindurch berechnet und der Objektsensor entsprechend angestellt. So werden, wie in Abbildung 4 dargestellt, mehrere zirkulare Profile erfasst. Aus diesen kann die innere Zentrierung des Objekts

ermittelt werden. Die Formfehler der Vorderseite, welche selbstverständlich eine Messung durch das Objekt hindurch beeinflussen, werden berücksichtigt und kompensiert. Analog zu den ersten beiden Schritten (optische Fläche, sowie mechanische Referenzen) wird auch diese Messaufgabe voll-automatisiert und in der gleichen Aufspannung durchgeführt.

Zusätzlich zur inneren Zentrierung der Linse, basierend auf der Korrelation der beiden optischen Flächen, kann auch die Ausrichtung (Verkipfung) der beiden beteiligten Spritzgussformen zueinander geprüft werden. Hierzu werden zwei gegenüberliegende Planflächen, welche jede für sich als mechanische Referenz zur jeweiligen optischen Fläche dient, zueinander vermessen. Die Messung erfolgt, analog zur Messung der inneren Zentrierung, durch die Linse hindurch und in der gleichen Aufspannung.

## Zusammenfassung

Der hier vorgestellte, kurz-kohärente Mehrwellenlängen-Ansatz, in Kombination mit dem bewährten Referenzprinzip, ermöglicht die vollständige Charakterisierung von kleinen Optiken. Neben der vollflächigen Messung der optischen Flächen, können auch mechanische Referenzen als zirkulare Profile oder flächige Topografien erfasst und in Relation zur optischen Achse gesetzt werden. Weiterhin liefert die Messung durch das optische Element hindurch eine präzise Aussage über die innere Zentrierung, d. h. Verkipfung und Dezentrierung der beiden optischen Flächen zueinander, sowie der Werkzeugausrichtung während des Formprozesses. Die Charakterisierung von kleinen Linsen kann somit vollständig von nur einem Messgerät durchgeführt werden, wo zuvor mehrere nötig waren. Alle Messungen laufen voll-automatisiert ab und dauern, für typische Elemente aus dem Smartphone-Kamera- oder Endoskopie-Bereich, deutlich weniger als drei Minuten.

# Automatisierte Scratch-Dig-Inspektion

Autor: Dr. Roland Goschke



Bildquelle: DIOPTIC

Vorteile durch  
automatisierte visuelle  
Inspektion

In der optischen Industrie gibt es in Europa und international eine zunehmende Tendenz, die Genauigkeit und Qualität der Inspektion von optischen Teilen zu erhöhen. Häufiger als zuvor setzen Hersteller dabei auf computergestützte Inspektionssysteme, um menschliche Inspektoren schrittweise zu ersetzen. Wir beschreiben, wie computergestützte optische Inspektionssysteme helfen können, die Qualität zu verbessern und gleichzeitig die Kosten zu senken.

### Inspektion von optischen Oberflächen: Mensch vs. Maschine

**L**insen, Spiegel und andere optische Komponenten werden traditionell von Menschen inspiziert. Dies verursacht hohe Kosten und erzeugt subjektive Inspektionsergebnisse und ist mit einem hocheffizienten, qualitativ hochwertigen digitalen Workflow nicht vereinbar. Die einschlägige Inspektionsnorm ISO 10110-7 formuliert komplexe Kriterien für ein Bestehen oder Nichtbestehen, basierend auf Defektgrößen und -konzentrationen, die bei der visuellen Inspektion auf Defekte an optischen Proben nur schwer bis gar nicht zu beachten sind. Außerdem müssen Hersteller in vielen Fällen andere als die in der Norm aufgeführten Defekte klassifizieren oder benutzerdefinierte Kriterien für bestimmte Arten von Defekten verwenden. Bei solchen speziel-

len Anforderungen gab es in der Vergangenheit wenig bis gar keine Möglichkeiten für eine automatisierte, maschinengestützte optische Inspektion.

Automatisierte optische Inspektionssysteme, die Chargen von Proben in einem Durchgang auf kosmetische Defekte prüfen, wie z. B. ARGOS von DIOPTIC, können dagegen die Aufgabe der hochzuverlässigen objektiven Prüfung optischer Oberflächen nach ISO- oder MIL-Regeln lösen. Diese Systeme sind typischerweise mit einer Dunkelfeld-Beleuchtungseinheit und einer hochauflösenden optischen Kamera ausgestattet, die qualitativ hochwertige Bilder von relevanten Defekten erzeugt. Die in Sekunden schnelle aufgenommenen Bilder dienen dann als Grundlage für eine computergestützte Analyse durch maschinelle Lernalgorithmen, die die Daten streng nach ISO 10110-7 oder nach anderen vom Systembetreiber vorgegebenen Kriterien auswerten.

#### Drei Szenarien sind häufig anzutreffen:

1)

Eingehende Komponenten von Lieferanten müssen vor der Weiterverarbeitung auf die Einhaltung der bestellten Qualität überprüft werden.

2)

Die Produktqualität muss erhöht werden, während die Herstellungskosten sinken sollen.

3)

Die gelieferte Qualität der Waren muss dokumentiert werden, um Verkaufspreise zu rechtfertigen und ungerechtfertigte Warenrücksendungen zu reduzieren.

## Der Bedarf an automatisierten Inspektionssystemen

In einer hocheffizienten, kostensensiblen Umgebung werden nicht nur computergestützte Prüfungen benötigt. Die Prüfsysteme müssen auch halb- oder vollautomatisch sein, um die Kosten der menschlichen Interaktion innerhalb des QC-Workflows selbst bei vergleichsweise kleinen Stückzahlen zu reduzieren. Darüber hinaus verringern automatisierte Systeme auch die Zahl versehentlicher Klassifizierungsfehler.

Wie kann ein automatisches Inspektionssystem in einem Workflow für die Linsen- oder Spiegelproduktion eingesetzt werden?

### 1

Betrachten wir Fall 1): Hersteller von optischen Produkten sind in vielen Bereichen auf einzelne optische Komponenten angewiesen, die von verschiedenen Lieferanten bezogen werden. Wenn diese Lieferungen im Werk ankommen, werden sie typischerweise von menschlichen Inspektoren zu 100 % auf Fehler überprüft, um sicherzustellen, dass die bestellten Teile den vorgegebenen Anforderungen entsprechen.

Ein automatisiertes Inspektionssystem hilft, Kosten zu sparen, indem es die Anzahl der Mitarbeiter reduziert, die für die Überprüfung der gelieferten Teile benötigt werden. Es senkt auch die Herstellkosten, da weniger Teile versehentlich verschrottet werden oder, noch schlimmer, fehlerhafte Teile an die Produktion weitergegeben werden.

### 2

Im Fall 2) hilft ein automatisiertes Chargeninspektionssystem mit objektiven Scan- und Klassifizierungsergebnissen unabhängig von Ermüdung oder Erfahrung eines menschlichen Inspektors. Das automatisierte System kann von ungeschultem Personal beladen und bedient werden. Es kann unbeaufsichtigt und im

Schichtbetrieb rund um die Uhr laufen. Daher kann es dazu beitragen, die Inspektionskosten deutlich zu reduzieren. Es erleichtert auch das Hinzufügen von Inspektionspunkten nach verschiedenen Produktionsschritten, um Prozesse und Produktqualität zu überwachen und zu verbessern.

### 3

Fall 3) tritt bei Herstellern auf, die optische Teile zur Weiterverarbeitung liefern. Wenn das Qualitätsniveau der gelieferten Ware für jedes gelieferte Stück dokumentiert wird, sind Kunden eher bereit, für die geforderte hohe Qualität einen Aufpreis zu zahlen. Um langfristige Kundenbeziehungen zu pflegen, ist daher eine gründliche Qualitätsdokumentation sehr hilfreich. Mit automatisierten Prüfwerkzeugen sind detaillierte Prüfberichte ohne zusätzliche Kosten verfügbar.

## Wie sieht ein Arbeitsablauf mit einem automatisierten Werkzeug zur Oberflächenqualitätsprüfung aus?

Typischerweise beinhaltet die manuelle Prüfung einen (manuellen) Reinigungsschritt vor der Prüfung. Dies ist auch der Fall, wenn ein automatisiertes Werkzeug mit Probenträgern betrieben wird. Idealerweise befindet sich das Prüfsystem in einem Reinraum und ein Bediener reinigt jede Probe, bevor er sie in ein Tray legt. Bei größeren Volumina ist ein automatisiertes Mehrbad-Ultraschall-Reinigungssystem effizienter.

Sobald ein Tray vollständig mit Proben beladen ist, wird es auf den 200 x 200 mm (300 x 300 mm oder noch größer) großen Tisch des ARGOS Inspektionssystems gestellt. Das „Rezept“ für die Inspektion wurde vordefiniert und ist in einem Messprofil gespeichert. Das Profil kann, falls das Gerät so eingerichtet wurde, sogar auch automatisch über einen QR-Code auf dem Tray ausge-



### Oberflächenüberprüfung eines Fokussierspiegels mit ca. 100 mm Durchmesser

wählt werden, um Fehlbedienungen so weit wie möglich zu vermeiden.

In einigen Anwendungen befinden sich auch 2D-Matrixcodes auf jedem Produkt, die es der ARGOS-Software ermöglichen, jeden Prüfbericht automatisch den getesteten Proben zuzuordnen. In anderen Installationen gibt ein Bediener die Seriennummern von Hand oder mit einem Barcodeleser ein.

Die Messung eines vollen Trays dauert zwischen 5 und 60 Minuten, je nach Prüfdetail und Linsenradien und -durchmessern. Für ebene Teile wird in der Regel weniger Zeit benötigt als für Teile mit gekrümmten Oberflächen.

Sobald das gesamte Tray vermessen ist, nutzt der Bediener den grafischen Bericht auf dem Bildschirm, um die grün dargestellten Gut-Teile weiterzuleiten zur weiteren Produktionsbearbeitung (Beschichtung, Montage, etc.)



**ARGOS matrix 200: Übersichtlicher Prüfbericht mit klarer pass-fail Darstellung**

In den Fällen 1 und 3 ist keine menschliche Interaktion mit Prüfberichten erforderlich. Im Fall 2 wollen Prozessingenieure die Prozessqualität verbessern, daher benötigen sie detaillierte Informationen und Daten zu Fehlern aus den Messberichten, die automatisch zu jedem Prüfling erzeugt und als pdf- und/oder .json-Datei gespeichert werden, um zu prüfen, wo Prozesse für eine bessere Qualität optimiert werden können.

### Detaillierte Inspektionsberichte für jedes Element

Auch wenn in einem automatisierten Arbeitsablauf nur eine Pass/Fail-Entscheidung des Messsystems benötigt wird, kann es hilfreich sein, vollständige Inspektionsdaten einschließlich Mikroskopbildern und Histogramm der Fehlergrößenverteilung oder sogar eine Heatmap für jede Probe zur Verfügung zu haben. In alltäglichen Szenarien liegen diese Informationen auf einem Server und werden nur selten genutzt. Wenn jedoch die Ausbeute sinkt oder die Effizienz gesteigert werden muss, können Prozessingenieure die Inspektionsdetails einsehen, während sie die Produktionsprozesse optimieren oder neue Maschinen einführen. Die Inbetriebnahme einer neuen Beschichtungsanlage ist ein gutes Beispiel, bei dem der Zustand der Proben vor und nach der Beschichtung durch den Vergleich von Histogrammdaten der Fehlergrößenverteilung genau überwacht werden muss.

### Vollautomatische Inline-Inspektion

Die Batch-Inspektion kann viele Aufgaben der automatisierten optischen Inspektion für Produktionen mit niedrigem bis mittlerem Durchsatz lösen. Einige Elemente werden jedoch in großen Mengen und mit strengen Anforderun-

gen an die Oberflächenqualität produziert. In diesen Fällen kann das manuelle Befüllen von Tablettts mit zu prüfenden Teilen nicht mit den Inline-Durchsatzanforderungen mithalten. Dies ist auch der Fall, wenn die Teile einfach zu groß sind, so dass jeweils nur ein Teil auf den Kreuztisch des Inspektionssystems gelegt werden kann. In diesen Fällen der Inline-Inspektion wird ein Beladeroboter benötigt, der an das optische Inspektionssystem angepasst ist. Er muss mit dem Messsystem kommunizieren, wenn eine neue Probe auf dem Tisch platziert wurde und zur Prüfung bereit ist, und er muss auch wissen, wann die Prüfung abgeschlossen ist und der xy-Tisch sich in der Lade-/Entladeposition befindet und auf den Austausch der Probe wartet.

Es gibt auch andere komplexe Inspektionsszenarien, bei denen die Proben einfach zu groß oder zu schwer sind, um sie auf die Tische eines Inspektionssystems zu legen. In diesen Fällen wird eine Lösung benötigt, die das Prüfmodul mit einem Roboterarm über den Proben positioniert. Dies erfordert natürlich einen hohen Schnittstellenaufwand zwischen dem Positionierroboter und dem Messkopf des Inspektionssystems, da nicht nur Handshake-Daten, sondern auch Positionierkoordinaten ausgetauscht werden müssen. Das flexible ARGOS matrix System lässt sich auch für solche schwierigen Szenarien modifizieren.

### ARGOS matrix – das flexibelste System zur Inspektion von optischen Komponenten

ARGOS matrix 200/300/400 verfügt über einen präzisen xy-Tisch, der viel Platz für eine große Anzahl von Proben in einem Tray bietet. Seine Software lässt sich einfach konfigurieren, indem Rezepte für verschiedene Prüfaufgaben erstellt werden. Von der automatisierten Inspektion vieler Proben in einem Tray bis hin zur Fähigkeit,

als Laborgerät mit manueller Bedienung für die Prüfung einzelner Stücke zu dienen, gibt es fast endlose Möglichkeiten.

Mit verschiedenen Optikkonfigurationen kann für die meisten QC-Aufgaben die optimale ARGOS matrix-Einstellung gefunden werden. Das Standard-Sichtfeld beträgt  $10 \times 7,5$  mm und bietet eine nominelle Auflösung von  $2,5 \mu\text{m}$ . Es sind jedoch auch ARGOS-Versionen mit größeren Sichtfeldern für einen verbesserten Durchsatz erhältlich, wenn die höchste Systemauflösung nicht benötigt wird.

Eine Stitching-Option bietet eine praktisch unbegrenzte Probengröße, indem der gesamte Probenraum von  $200 \times 200$  mm (optional  $300 \times 300$  mm) für Messungen großer Proben zugänglich gemacht wird.

Das System prüft automatisch einzelne Proben, die in einem Tray sitzen, Stück für Stück und generiert genaue Prüfergebnisse für jede Probe und für jedes Tray. Berichte gemäß ISO 10110-7 oder benutzerdefinierten Anforderungen an die Oberflächenqualität werden als pdf- und json-Dateien erzeugt. Sie sind voll kompatibel mit einem digitalen Workflow-Management, können aber auch von Ingenieuren als Grundlage für weitere Prozessoptimierungsschritte verwendet werden. Prüfberichte werden von der Systemsoftware automatisch für jede gemessene Probe und für jedes gemessene Tray generiert und zeigen grafisch gut/schlecht für jede Probe in einem Tray an. Dies ermöglicht eine einfache und schnelle Sortierung für die weitere Verarbeitung der getesteten Produkte.

Die Software berücksichtigt sogar verschiedene Bereiche jeder zu prüfenden Probe mit unterschiedlichen Anforderungen an die Oberflächenqualität, so dass z.B. das Zentrum einer Probe nach höheren Oberflächenqualitätsstandards geprüft werden kann als die Randbereiche.

ARGOS matrix 200 ist für verschiedene Bereiche der optischen Inspektion optimiert, wie z.B. Optiken auf Waferebene, Mikrooptiken, Spie-

gel, Linsen, Linsensätze, Strahlteiler und andere Optiken mit komplexen Formen.

Da die gesamte Messtechnik, also Beleuchtung, Kameraobjektiv, Kamera und Fokussierachse, im kompakten ARGOS matrix Messkopf enthalten sind, ist das System eine vielseitige Basis für die Erstellung von Lösungen für die einfache manuelle Stück-für-Stück-Prüfung (ARGOS matrix), die automatisierte Chargenprüfung mit Trays voller Proben (ARGOS matrix 200/300/500) bis hin zum dedizierten Inline-Prüfsystem mit Roboter-Probenlader auf Basis von ARGOS matrix 200 oder dem ARGOS matrix Messkopf.

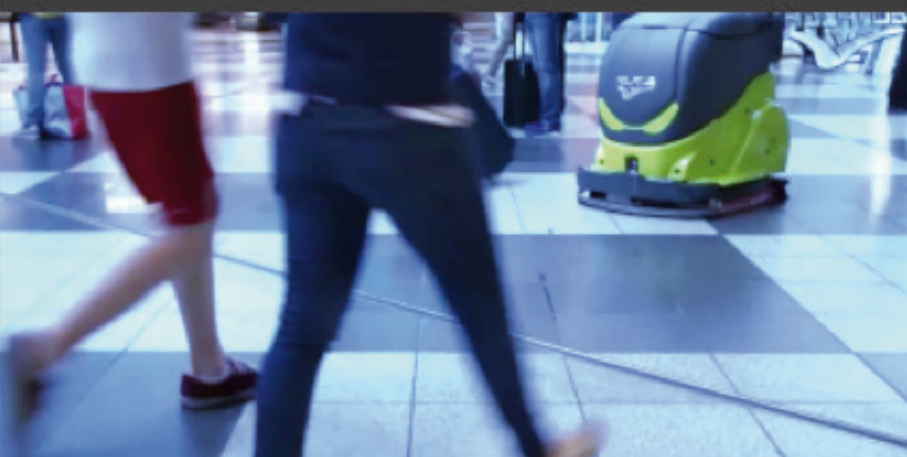


Interessieren Sie sich für weitere Informationen zur automatisierten, objektiven und reproduzierbaren Defekt / Kratzerprüfung?

Nehmen Sie Kontakt mit unserem Experten auf:

Dr. Roland Goschke,  
Leiter Vertrieb

goschke@dioptric.de  
+49 6201 650 40-292  
www.dioptric.de



Motive: © ADLATUS

Abbildung 1: Autonomer Reinigungsroboter ADLATUS im Einsatz

# Autonome Serviceroboter in öffentlichen Räumen: Innovationen für die Human Robot Interaction (HRI)

Autor: Karlheinz Blankenbach

Displays erhöhen die Effizienz von Reinigungs-Robotern und reduzieren Unbehagen.

**Autonome fahrende Serviceroboter bevölkern zunehmend öffentliche Bereiche. Entscheidend für die Akzeptanz ist eine intuitive Kommunikation mit den Passanten über den geplanten Fahrweg.**

**Hierzu wurden Visualisierungen und Display-Technologien untersucht und bewertet.**

Die Interaktion zwischen autonomen Service-Robotern und Menschen in öffentlichen Räumen ist ein junges Forschungsgebiet und wird als Human Robot Interaction (HRI) bezeichnet. Diese Kommunikation unterscheidet sich signifikant von Industrie-Robotern und Assistenten in privaten Räumen: Passanten treffen hier oft erstmals auf einen solchen Roboter. Die Hauptanforderung an HRI ist also eine klare und intuitive Verständlichkeit für alle Personen.

Im konkreten Projekt (Details siehe [1]) geht es um autonom fahrende Reinigungs-Roboter in Bahnhöfen und Flughäfen (Abbildung 1). Ein solcher Roboter hat eine Größe von 1 m x 0,8 m x 1 m (Höhe) und bewegt sich mit Fußgängergeschwindigkeit.

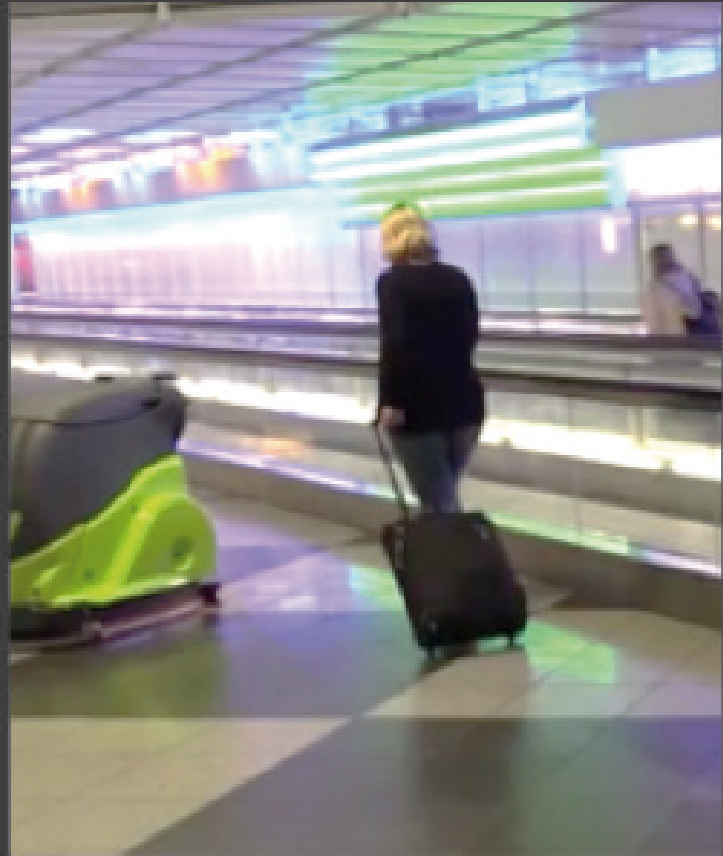


Abbildung 2: Begegnung und Ausweichmanöver ohne Visualisierung der geplanten Bewegungsrichtung.



Karlheinz Blankenbach

Karlheinz Blankenbach\*, Etienne Charrier\*,  
Franziska Babel\*\*, Siegfried Hochdorfer\*\*\*

\* Hochschule Pforzheim,  
Displaylabor, Pforzheim

\*\* Universität Ulm,  
Abteilung Human Factors, Ulm

\*\*\* ADLATUS Robotics, Ulm

In der Praxis kommt es häufig zu „Begegnungen“ zwischen Mensch und Roboter, die bei Menschen Unbehagen hervorrufen kann. Die Abbildung 2 verdeutlicht, dass eine optische Kommunikation des Roboters zum Passanten im Sinne von „ich weiche dir aus“ empfehlenswert ist.

Die Human Robot Interaction in öffentlichen Räumen sollte für alle Personen intuitiv, leicht verständlich und eindeutig sein. Keine oder nicht verständliche Kommunikation verursacht Unbehagen. Die Abbildung 3 zeigt Beispiele heutiger HRI-Visualisierungen. In Summe sind diese entweder recht klein und nah am Roboter (A, weißer Pfeil), nur Spezialisten bekannt und in moderat hellen Räumen kaum erkennbar (B, blauer Spot von Gabelstaplern), oder



© ADLATUS

wenig bekannt (C, türkis als Farbe für autonomes Fahren) und kaum interpretierbar (D, einzelne „bewegte“ LEDs). Eine Visualisierung des intendierten Fahrweges durch eine Laser-Linie (E) bietet eine einfache Interpretation, die aber in stark frequentierten Arealen schnell an ihren Grenzen stößt. Der Schwerpunkt der bisherigen HRI-Aktivitäten lag eher auf der Interaktion als auf den optischen Anforderungen wie eine Beleuchtungsstärke-abhängige Erkennbarkeit. Wir begannen mit einer Befragung von Passanten nach ihren Eindrücken, Vorschlägen und Bewertungen zu HRI. Dies war die Basis für unseren Demonstrator, der unterschiedliche optische Visualisierungsmöglichkeiten bereitstellt und deren messtechnische Evaluierung ermöglicht.

## Studie mit Befragung von Passanten

Die Studie diente dazu, Nutzerpräferenzen bei autonomen Reinigungs-Robotern zu erfragen:

### 1

Beobachtung des Verhaltens von Passanten beim Einsatz eines ADLATUS Reinigungsroboters ohne Kommunikationsmöglichkeiten in einem Bahnhof. Die Reaktionen der Passanten belegten die Empfehlung zur Interaktion von autonom fahrenden Robotern. Es wurden Unsicherheiten über den Fahrweg und die Erkennung von Personen beobachtet.

### 2

52 Personen wurden nach ihren Präferenzen über die Kommunikation der intendierten Route des Roboters befragt. Eine große Mehrheit bevorzugte visuelle Signale wie Pfeile vor dem Roboter, ein Display am Roboter oder vom Straßenverkehr her bekannte Signale wie Blinker. Die anderen bevorzugten akustische Interaktionen.

### 3

Drei Visualisierungen (Videoclips, Abbildung 4) des intendierten Fahrweges wurden von 32 Personen bewertet. 5 Personen wünschten keine Visualisierung (Roboter stoppt auf alle Fälle oder niedrige Geschwindigkeit). Der Favorit sind dynamisch animierte Pfeile in Fahrtrichtung gefolgt von einer Fahrspur-Begrenzung mit Richtungspfeil. Nur 10% empfanden einen statischen Pfeil als besten Vorschlag.

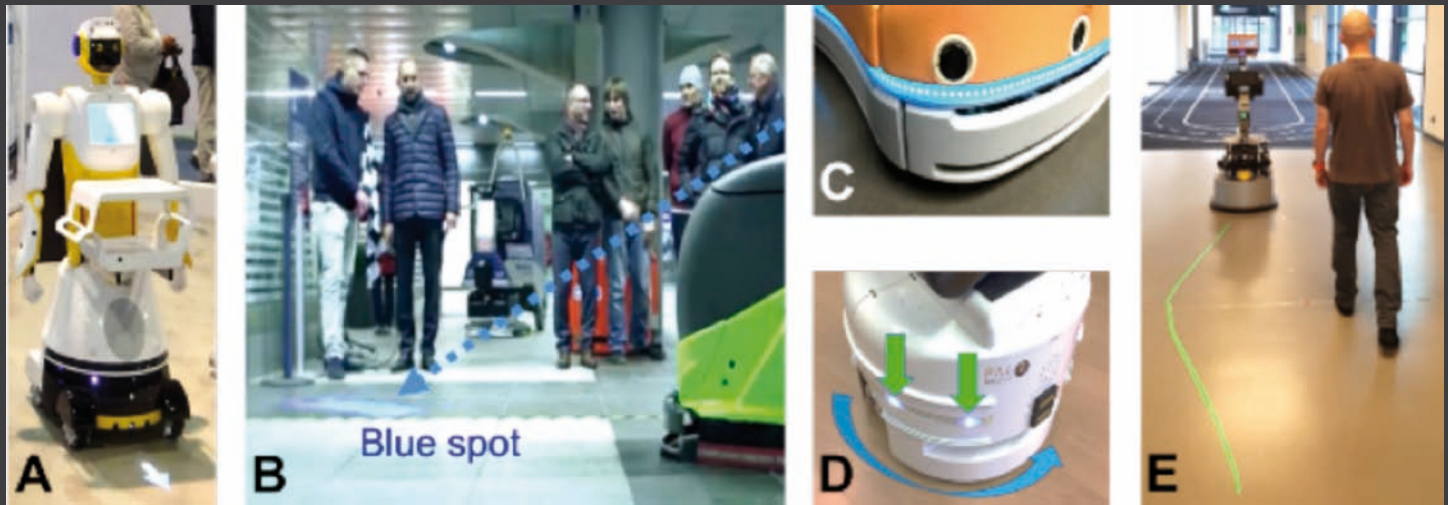


Abbildung 3: Beispiele zur Visualisierung der Fahrtrichtung bei autonomen Robotern.

© ADLATUS, Uni Ulm, Hochschule Pforzheim

Aufbauend auf den Ergebnissen der Befragung wurde nun ein Demonstrator aufgebaut, mit dem in der Nach-Corona-Zeit Nutzerstudien durchgeführt werden.

### Demonstrator mit unterschiedlichen Displays

Zum systematischen Vergleich der optischen und technischen Aspekte der HRI-Fahrweganzeige wurde ein Demonstrator (Abbildung 5) aufgebaut:

- DLP Projektor mit 4.000 lm und RGBW für erhöhte Leuchtdichte
- RGB Showlaser mit 1 W Leistung zur Visualisierung von Konturen
- Horizontal schwenkbarer Pico-Projektor mit 100 lm
- Graphical Optical Blackout (GOBO, voll schwenkbar) mit je 8 Icons und Farben
- RGB LED Streifen mit individueller Ansteuerung für dynamische Effekte
- 10" Tablet (auf der Rückseite)

Damit können alle Vorschläge und Präferenzen der Probandenstudie (Display, Projektion, Blinker etc.) und viele weitere Ideen effizient umgesetzt werden. Ein wesentliches Kriterium für die Auswahl der Elemente war hierbei die kommerzielle Verfügbarkeit wie Consumer-Industrie und Event-Branche. Aufgrund der vergleichsweise geringen Jahresstückzahlen autonomer Roboter (ca. 30.000 weltweit) kommen kundenspezifische Displays kaum in Frage. Der Rundum-LED-Streifen (Abbildung 6) wird per ARDUINO-Microcontroller (einfache Anbindung an den Roboter) angesteuert und ermöglicht Animationen wie Blinklicht, Warnleuchte und dynamische Richtungsvisualisierungen.

In Abbildung 7 sind exemplarische Beispiele von bildgebenden Visualisierungen dargestellt; die gedachte Fahrtrichtung sowie „sichere“ und „unsichere“ Bereiche sind ebenfalls eingezeichnet. Der horizontal schwenkbare Pico-Projektor (links) lieferte erstaunlich helle Bilder auf den untersuchten Fußböden. Der fest installierte „große“ DLP-Beamer hat eine ähnliche Performance, da sein projiziertes Bild mindestens 2 m<sup>2</sup> groß sein muss um alle Bewegungsrichtungen abzudecken.



Abbildung 4: Visualisierungen der Fahrspur der Passantenbefragung mit Präferenzen.

© Roboterstudie: Universität Ulm

Der Show Laser (Abbildung 7 Mitte) projiziert farbige Konturlinien. Der abdeckbare Winkelbereich ist vergleichsweise klein, sodass der Show Laser schwenkbar verbaut werden müsste. Das LCD Tablet (rechts) kann beliebige Pfeile und Animationen darstellen, die mit PC-Software leicht zu erstellen sind.

ab, für den schwenkbaren Pico-Projektor sind  $0,14 \text{ m}^2$  ausreichend, der DLP-Projektor deckt  $2 \text{ m}^2$  ( $15\times$ ) ab. Dies resultiert für beide Projektoren in einer maximalen Beleuchtungsstärke von  $300 \text{ lx}$ , welche über dem empfohlenen Wert für öffentliche Bereiche wie Gates und Passagen liegt. Das Show-Equipment und der LED-Streifen (Leuchtdichte bis  $8.000 \text{ cd/m}^2$ ) erreichen fast

## Optische Messungen und Bewertung

Entscheidend für die Wahrnehmung und Interpretation von Richtungssymbolen ist deren Erkennbarkeit bei Umgebungslicht. Da HRI-Visualisierungen noch eine „junge“ Disziplin sind, gibt es hier keine Normen. Deshalb wurde die im Automobilbereich weit verbreitete Norm ISO 15008 herangezogen. Als Maß für eine ausreichende Ablesbarkeit bei hellem Umgebungslicht wird dort ein minimales Kontrastverhältnis CR von 2:1 und eine Farbdifferenz  $\Delta E \geq 20$  gefordert. Aus Messungen von Leuchtdichten und Beleuchtungsstärken wird die maximale erlaubte Beleuchtungsstärke (Tabelle 1, 2. Spalte von links) für CR=2:1 berechnet. Diese hängt bei den Videoprojektoren von der Bildgröße

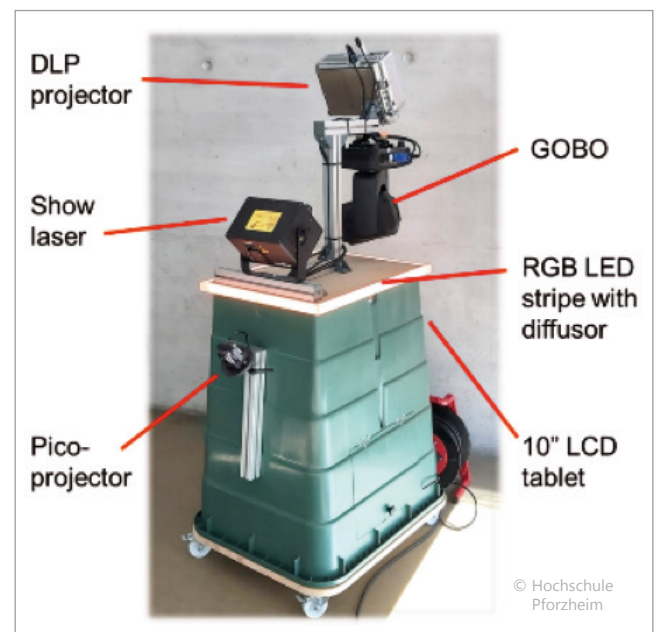
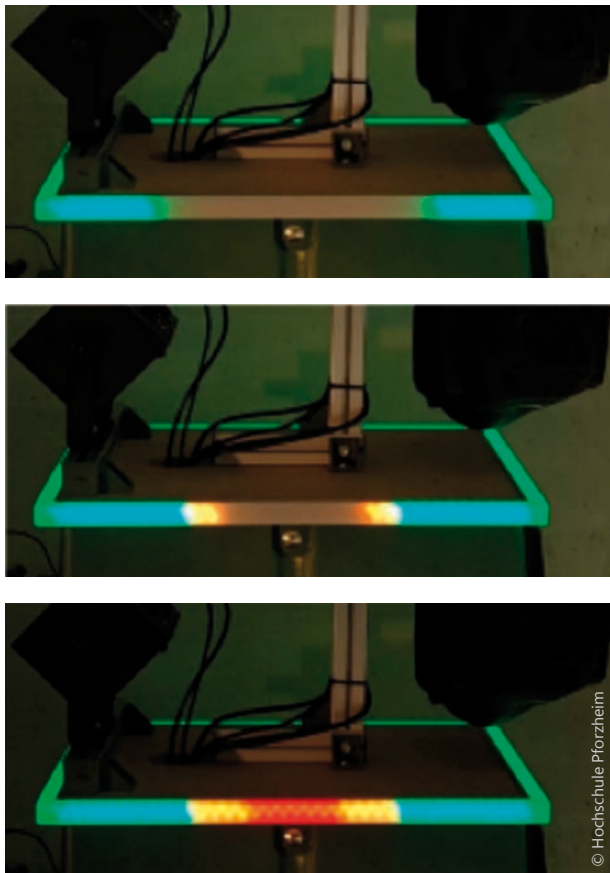


Abbildung 5: Universeller HRI-Demonstrator für Evaluierung und optische Messungen.

**Tabelle 1: Ergebnis der optisch-photometrischen Messungen gemäß ISO 15008.**

| Display        | Max. Beleuchtungs-Stärke E/lx für CR = 2:1 | Farb-Differenz $\Delta E_{uv}$<br>für 300 lx (Projektoren) und 10,000 lx |    |    |    |
|----------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----|----|----|
|                |                                            | R                                                                        | G  | B  | W  |
| Pico-Projektor | 300                                        | 8                                                                        | 12 | 9  | 22 |
| DLP-Projektor  | 300                                        | 12                                                                       | 11 | 6  | 23 |
| GOBO           | 17,000                                     | 4                                                                        | 4  | 14 | 32 |
| Show Laser     | 27,000                                     | 13                                                                       | 18 | 41 | 41 |
| LED Streifen   | 44,000                                     | 41                                                                       | 18 | 32 | 49 |

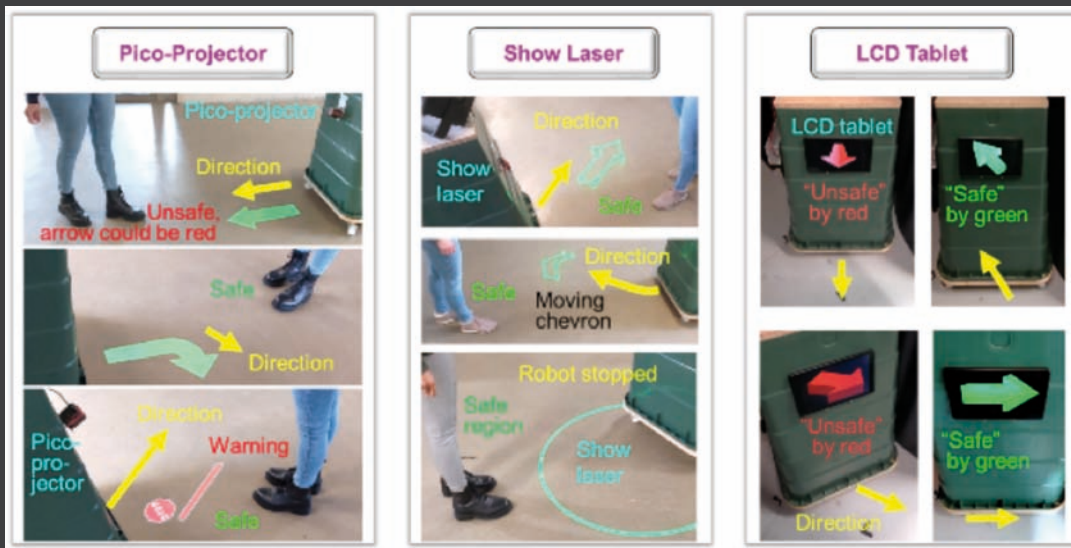


**Abbildung 6: Dynamische Visualisierung der Fahrrichtung durch LED-Streifen: Das „grüne Band“ verändert sich wellenförmig animiert zur rot (Warnfarbe) als Symbol für die Fahrrichtung.**

Outdoor-Performanz. Auch das hier nicht aufgeführte Tablet mit 250 cd/m<sup>2</sup> ist für Innenbereiche sehr gut geeignet.

Die Farbabstände  $\Delta E$  nach CIELUV [2] wurden für die beiden Projektoren für 300 lx und für die übrigen Visualisierungssysteme für 10,000 lx berechnet. Den definierten minimalen Schwellwert „20“ (Tabelle 1, rechte Spalten) erreichen alle Visualisierungssysteme für Weiß, bei der Warnfarbe Rot liegt nur der LED-Streifen darüber. Der visuelle Eindruck war jedoch selbst für  $\Delta E = 10$  ausreichend. Die unterschiedlichen Ergebnisse für RGB lassen sich durch unterschiedliche Farborte der Primärfarben und RGB Leuchtdichte-Verhältnisse erklären. Somit sind bis auf den GOBO alle untersuchten Geräte geeignet.

Zu beachten ist, dass die Geräteauswahl nicht in Richtung „beste Performanz und Qualität“ erfolgte, sondern über kommerzielle Verfügbarkeit und den Preis: Die Spanne reichte von ca. 100 € für den Pico-Projektor und LED Streifen (inkl. Netzteil, Diffusor, ARDUINO) bis 500 € für den Showlaser und den DLP-Projektor.



© Hochschule Pforzheim

Abbildung 7: Varianten von Visualisierungen der Fahrrichtung für Pico-Projektor, Show Laser und LCD Tablet.

In Richtung Serienentwicklung sind weitere Aspekte wie das Design der Richtungsvisualisierung (bildgebend, feste Icons wie beim GOBO, linienförmige Animation bei LED-Streifen ...), der „Ort“ der Visualisierung (Fußboden, am Roboter ...), mechanische Integration am Roboter (Größe des Gerätes, Wärmeabfuhr, Projektionsabstand ...), die Datenanbindung zur Robotersteuerung und die Kosten.

Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Kombination zwischen LED-Streifen und einem kleinen schwenkbaren Projektor (am besten mit HDMI-Anschluss) vielversprechend ist: Ein umlaufender LED-Streifen wird auch aus größerer Entfernung bei höherer Passanten-Dichte wahrgenommen während ein Projektor die Fahrrichtung dann in unmittelbarer Nähe anzeigt.

## Zusammenfassung

Autonome Serviceroboter „bevölkern“ zunehmend öffentliche Räume sodass eine leicht verständliche Interaktion zwischen Roboter und Mensch empfohlen wird. Die Ergebnisse der vorgeschalteten Studie wurden mittels des Demonstrators hinsichtlich technischer Möglichkeiten und der Erkennbarkeit der Visualisierung nach ISO 15008 bewertet. Die Kombination von LED und einer bildgebenden Projektion der Fahrtrichtung auf den Fußboden erscheint am vielversprechendsten.

Das Projekt wurde im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojektes „RobotKoop“ vom BMBF gefördert (FKZ 16SV7967).

## Referenzen

- [1] Blankenbach K, Charrier E, Babel F, Hochdorfer S. Advanced HMI and Evaluation of Various Display Techniques for Autonomous Robots in Public Spaces. 2021;53:583-586. ISSN 0097-996X/21/5202-0583 Society for Information Display, International Symposium 2020, Digest of Technical Papers. 2021;53:583-586. ISSN 0097-996X/21/5202-0583
- [2] Blankenbach, K. Display Metrology. In Handbook of Visual Display Technologies. Springer, Heidelberg; 2016. Print + eBook ISBN 978-3-319-14347-7

# **Topographiemessung** mittels digitaler **Holographie** auch an bewegten Objekten

**Dr. Annelie Schiller, Dr. Alexander Bertz, Fraunhofer IPM**

**Mittels digitaler Holographie  
lassen sich Oberflächen  
schnell, präzise und kontaktlos  
dreidimensional vermessen.  
Bisher war dies nur an  
stillstehenden Objekten möglich.  
Jetzt können auch bewegte  
Objekte digital-holographisch  
erfasst werden.**

**A**ls industrietaugliches Messverfahren ist die digitale Holographie hervorragend geeignet, um berührungslos und schnell die 3D-Form von Bauteilen flächig zu erfassen. Sowohl spiegelnde als auch raue Oberflächen können damit gleichermaßen vermessen werden. Anwendung findet diese Technologie u. a. bei der 100-%-Prüfung von Präzisionsdrehteilen oder der Vermessung feinsten Bump-Strukturen in der Mikrochipfertigung. Dabei werden Genauigkeiten von bis zu  $0,2\ \mu\text{m}$  gefordert und erreicht.

### Digitale Holographie – vollständige, digitale Aufzeichnung der Lichtwelle

Die digitale Holographie ist ein recht junges Messverfahren. Sie beruht auf dem Prinzip der Interferometrie: Laserlicht wird in eine Objekt- und eine Referenzwelle aufgeteilt. Während die Objektwelle an der zu vermessenden Oberfläche gestreut wird, durchläuft die Referenzwelle einen genau definierten optischen Pfad innerhalb des Sensors. Auf einer Kamera werden Objekt- und Referenzwelle zur Überlagerung gebracht. Das entstehende Interferenzmuster trägt die Höheninformation des Prüflings in sich. Mit geeigneten numerischen Methoden kann heute

in Sekundenbruchteilen die Form einer technischen Oberfläche aus diesem Interferenzmuster berechnet werden. Aber nicht nur das: Dadurch, dass Intensität und Phase der Objektwelle bei der digitalen Holographie so genau und ganzheitlich erfasst werden, kann auch ihre Ausbreitung im Raum numerisch berechnet werden. Dadurch ist es beispielsweise möglich, eine Oberfläche zu vermessen, auch wenn diese optisch nicht scharf auf den Kamerachip abgebildet wurde.

#### Das Institut



Das Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM entwickelt maßgeschneiderte Messtechniken und Systeme für die Industrie. Langjährige Erfahrungen mit optischen Technologien bilden die Basis für Hightech-Lösungen in der Produktionskontrolle, der Objekt- und Formerfassung, der Gas- und Prozesstechnologie sowie im Bereich Thermische Energiewandler. Am Institut arbeiten rund 240 Mitarbeiter.

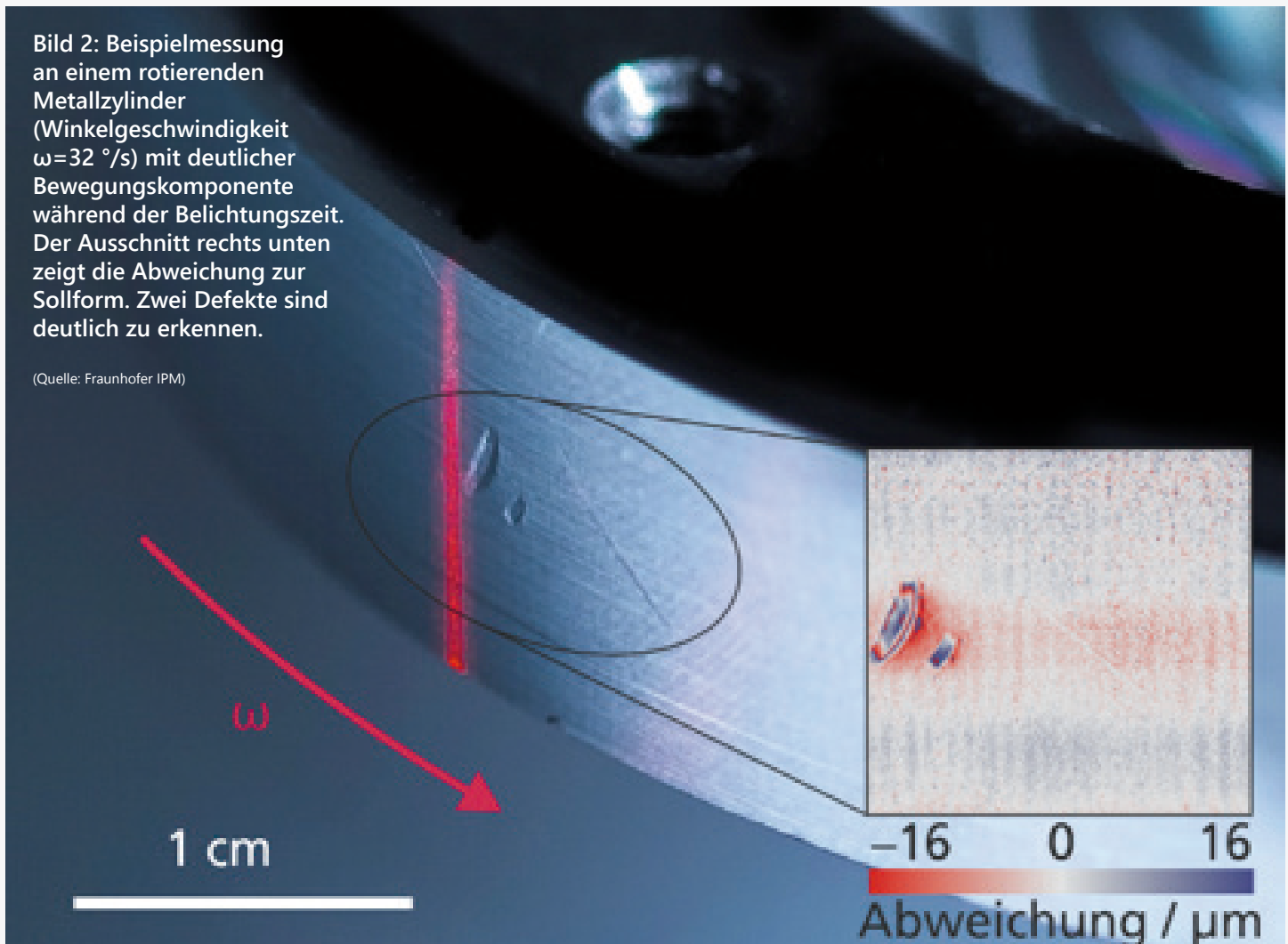
> Weitere Infos unter [www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)



Bild 1: Beispielmessung einer 10-Eurocent-Münze: Links ist das Amplitudenbild zu sehen – vergleichbar mit einer klassischen Fotografie. Das Phasenbild in der Mitte stellt in jedem Pixel die Höheninformation als Grauwert dar. Rechts sind die Messergebnisse in 3D dargestellt. (Quelle: Fraunhofer IPM).

Bild 2: Beispielmessung an einem rotierenden Metallzylinder (Winkelgeschwindigkeit  $\omega = 32^\circ/\text{s}$ ) mit deutlicher Bewegungskomponente während der Belichtungszeit. Der Ausschnitt rechts unten zeigt die Abweichung zur Sollform. Zwei Defekte sind deutlich zu erkennen.

(Quelle: Fraunhofer IPM)



## Mehrwellenlängenholographie – vielseitig anpassbar

Durch die Verwendung mehrerer leicht unterschiedlicher Laserwellenlängen kann der Eindeutigkeitsbereich der Messung erhöht werden. Somit können ebenfalls optisch raue Objekte vermessen werden. Durch Wahl der Wellenlängen lassen sich Genauigkeit und Eindeutigkeit spezifisch einstellen. Als kamerabasiertes Verfahren lassen sich die Messfelder an Kameras und Objektive individuell je nach Anforderung anpassen. Realisiert wurden bisher am Fraunhofer IPM Messfelder von  $3,5 \times 0,4 \text{ mm}^2$  bis  $200 \times 150 \text{ mm}^2$ . In diesen Sensoren werden mit Industriekameras Messraten von über 100 Millionen 3D-Punkten pro Sekunde erreicht.

## Hugo-Geiger-Preis

Für ihre Arbeiten zur Holographie an bewegten Objekten wurde Dr. Annelie Schiller mit dem zweiten Hugo-Geiger-Preis 2020 ausgezeichnet. Dieser Preis wird jährlich für herausragende Promotionsleistungen im Bereich der angewandten Forschung vergeben.

## Scannende Holographie an komplexen, großskaligen Objekten

Schon kleinste Positionsänderungen der Bauteile während der Belichtung von einem Bruchteil der Lichtwellenlänge – bei sichtbarem Licht wenige Nanometer – führen dazu, dass das Interferenzmuster „verwäscht“ und nicht mehr auswertbar ist. Daher wurden holographische Messungen bislang nur an statischen oder quasistatischen Objekten durchgeführt: In der Produktion mussten Teile herausgegriffen und so unter dem Sensor abgelegt werden, dass sie während der Messung absolut still lagen. Die Messung an kontinuierlich bewegten Objekten vereinfacht diesen Handling-Schritt und ermöglicht die scannende Vermessung großskaliger Objekte und komplexer Bauteile.

Essenziell hierbei ist die Bewegungsrichtung: Während der Messung ist eine Bewegung lateral möglich, axial ist die Bewegung aber störend und führt zum „Verwaschen“ des Interferenzmusters. Für linear bewegte Objekte bedeutet das, dass Objekte sich senkrecht zum abtastenden Laserstrahl bewegen sollten. Rotierende Objekte müssen radial gemessen werden, da sich das Objekt so nur lateral bewegt. Um ebenfalls außermittige Bewegung bei Rotation oder beliebige lineare Bewegung zu erlauben, wurde eine aktive Kompensation entwickelt, die den störenden axialen Anteil eliminiert und so eine Rekonstruktion der Höheninformation zulässt.

Diese Kompensationseinstellung ist unabhängig vom Radius des Objekts und erlaubt somit die Vermessung beliebig geformter rotierender Objekte. Bild 2 zeigt das Ergebnis bei einer nun möglich gewordenen Anwendung.

## Vorschubgeschwindigkeiten von 75 mm/s und mehr

Da das Objekt zur Messung nicht mehr angehalten werden muss, genügt es, einen kleinen Bereich des Objektes zu beleuchten und aufzunehmen. Die Einzelmessungen werden dann zu einer Gesamtmessung kombiniert. Damit können Objekte bei Geschwindigkeiten von mehr als 75 mm/s mit Einzelpunkt wiederholbarkeiten der Höhenwerte von unter 1 µm gemessen werden. Typische Messfeldgrößen variieren zwischen mikroskopischen Messfeldern von rund  $3,5 \times 0,4 \text{ mm}^2$  mit 0,5 µm lateraler Abtastung bis hin zu Makroabbildungen von  $20 \times 2 \text{ mm}^2$  mit 4 µm lateraler Abtastung. Dabei ist jeweils die kürzere Seite durch die kontinuierliche Objektbewegung beliebig erweiterbar.

Mit der Messung bewegter Objekte wird der Einsatz der vielseitig anpassbaren Mehrwellenlängen holographie noch deutlich erweitert. Bei scannender Holographie können große Objekte jetzt mit mehreren cm/s während der Messung kontinuierlich bewegt und dabei trotzdem hochpräzise erfasst werden.

### Die Autoren



Dr. Annelie Schiller  
Fraunhofer-Institut für  
Physikalische Messtechnik IPM  
Projektleiterin Holographie  
in Bewegung  
Georges-Köhler-Allee 301  
79110 Freiburg, Germany  
annelie.schiller@ipm.fraunhofer.de



Dr. Alexander Bertz  
Fraunhofer-Institut für  
Physikalische Messtechnik IPM  
Gruppenleiter Geometrische  
Inline-Messsysteme  
Georges-Köhler-Allee 301  
79110 Freiburg, Germany  
alexander.bertz@ipm.fraunhofer.de



## opsira Anwenderbericht

### Prüfstand und Testkonzept für OP-Leuchten bei Dräger

Für die Beleuchtung in OP-Sälen gelten strenge Normen, um während medizinischer Eingriffe größtmögliche Sicherheit zu bieten. Die Qualitätsmessungen sind wesentlicher Bestandteil des End-of-Line-Tests. Für seine OP-Leuchtenfamilie Polaris 600 hat Dräger gemeinsam mit Lichtmesstechnik-Spezialist opsira einen komplett neuen Prüfstand entwickelt.

[> Download Anwenderbericht](#)



## Neues Whitepaper des Fraunhofer IPT:

### Digitalisierung schafft Voraussetzungen zur Präzisionsmontage optischer Systeme

Immer kleiner, immer effizienter: Zukünftige optische Systeme sind gekennzeichnet durch zunehmende Miniaturisierung und Komplexität. Für die Produktion solcher Systeme bedeutet das, mit geringeren Fertigungstoleranzen eine gleiche oder sogar höhere Produktqualität zu erzielen. Den Weg dorthin ebnen digitale Konzepte für die automatisierte Präzisionsmontage, die in ein vernetztes Produktionsumfeld integriert werden, so das Fazit des Aachener Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT: In einem Whitepaper, das im Rahmen eines Forschungsprojekts zur effizienten Vernetzung von Produktionssystemen entstanden ist, wird das Potenzial der automatisierten Optikmontage näher beleuchtet.

Der Fokus des White Papers liegt auf der Präzisionsmontage als finalem Verarbeitungsschritt in der Prozesskette optischer Systeme. Die hochgenaue Endmontage bezeichnet nicht nur die Fertigstellung des optischen Systems; häufig werden in diesem Prozessschritt Fehler oder Ungenauigkeiten ausgeglichen, die in vorgelagerten Prozessschritten entstanden sind. Um die bestmögliche Produktionsstrategie zu entwickeln, ist eine digitalisierte und vernetzte Infrastruktur unerlässlich. Die hard- und softwareseitige Vernetzung aller Prozessschritte ist Gegenstand des Forschungsprojekts »EverPro – Effiziente Vernetzung optischer Produktionssysteme«, das den Rahmen für die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Präzisionsmontage bildet.

[> Whitepaper zum Download](#)

## Start up »Fusion Bionic« lasert Lotuseffekte

Das Spin-off des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS will mit weltweit „Direct Laser Interference Patterin“ Lotuseffekte und weitere funktionale Mikrostrukturen der Natur auf technische Oberflächen wie Batteriekomponenten, Tragflächen und Implantate bringen. Die Interferenzmuster sind der besondere Clou der Dresdner Technologie: Statt mit einem einzelnen Laserstrahl das gewünschte Strukturmuster langsam

wie mit einem Bleistift auf das Werkstück zu »zeichnen«, belichtet das DLIP-Verfahren große Flächen mit hohen Prozessgeschwindigkeiten. Für dieses Verfahren sowie die verbundenen Hardwarelösungen ist »Fusion Bionic« der weltweit erste kommerzielle Anbieter. Mehrere Unternehmen aus der Luftfahrt, der Automobilindustrie und dem Anlagenbau haben bereits Lösungen von »Fusion Bionic« angefragt.

### ANZEIGE



**HESSEN**  




**TECHNOLOGIELAND  
HESSEN**

**VERNETZT.  
ZUKUNFT.  
GESTALTEN.**

[technologieland-hessen.de](http://technologieland-hessen.de)

## Informieren, beraten, vernetzen

Das Technologieland Hessen unterstützt Unternehmen dabei, zukunftsweisende Innovationen zu entwickeln. Umgesetzt wird das Technologieland Hessen von der Hessen Trade & Invest GmbH im Auftrag des Hessischen Wirtschaftsministeriums.

Im Innovationsfeld Materialtechnologien unterstützen wir die hessischen Akteure bei der Entwicklung, Fertigung und Anwendung innovativer Materialien. Dabei legen wir einen besonderen Fokus auf Nachhaltige Materialien, Funktionsmaterialien und neue Fertigungsverfahren.



Hessisches Ministerium  
für Wirtschaft, Energie,  
Verkehr und Wohnen

Projekträger:  
Hessen Trade & Invest GmbH



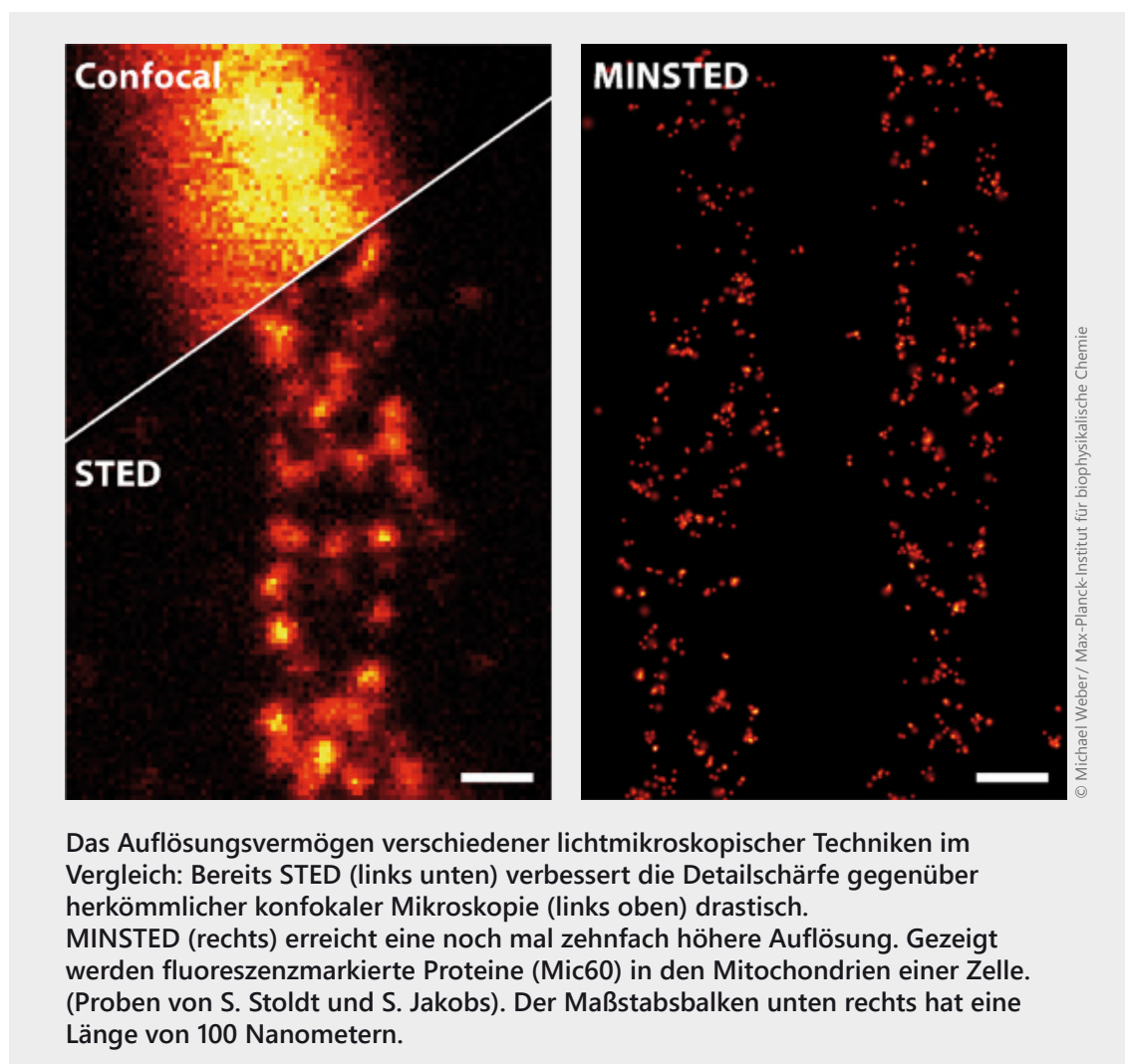


## Neue Mikroskopie-Methode:

# MINSTED löst Fluoreszenzmoleküle nanometergenau auf

Wissenschaftler um Stefan Hell vom Göttinger Max-Planck-Institut (MPI) für biophysikalische Chemie und dem Heidelberger MPI für medizinische Forschung haben eine neue Lichtmikroskopie-Methode entwickelt, MINSTED genannt. Sie trennt fluoreszenzmarkierte Details mit molekularer Schärfe. In seiner ursprünglichen Fassung erreicht die STED-Mikroskopie, für deren Entwicklung Stefan Hell 2014 den Nobelpreis für Chemie erhielt, eine Trennschärfe von bis zu 20 bis 30 Nanometern (Millionstel Millimeter) und ist damit etwa zehn Mal schärfer als die bis dahin verfügbaren Lichtmikroskope.

MINSTED erreicht eine molekulare Auflösung mit geringem Hintergrundrauschen. Die Auflösung kann von 200 Nanometern bis hinunter zur Molekülgröße – 1 Nanometer – fast stufenlos eingestellt werden.



Zukunft Photonik

# Impulse für Personalentwicklung in der Photonikbranche



Noch immer herrscht in Deutschland Fachkräftemangel, der – wie in allen High-Tech-Bereichen – auch in der Photonik Branche zu spüren ist. Gründe finden sich viele, u.a. sind der demografische Wandel (geburtenstarke Jahrgänge der Nachkriegszeit gehen langsam in den Ruhestand, die nachrückende Anzahl jüngerer Arbeitnehmer ist wesentlich geringer), der Rückgang der Ausbildungszahlen und die aktuellen Studentenzahlen ausschlaggebend hierfür.

Manch einer mag sich denken, dass es im Zuge der Corona-Pandemie evtl. zu größerem Personalabbau kommt und deshalb viele Fachkräfte auf den Arbeitsmarkt geschwemmt werden. Die Realität zeigt jedoch ein anderes Bild: deutschlandweit fehlt es an Fachkräften, nicht nur im Ingenieurwesen, sondern generell in den MINT Berufen (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik). Die Photonikindustrie mit ihren unterschiedlichen Anwendungsfeldern zeigte sich in den letzten Jahren

**Autorin: Sabine Zapf**  
beratungsgruppe  
wirth + partner, München

als sehr zukunftssträchtiger Markt mit großen Wachstumschancen. Und es sieht so aus, dass die Pandemie dieser Entwicklung im Großen und Ganzen nicht geschadet hat. Fraglich ist allerdings, ob für einen zukünftigen Mehrbedarf an Mitarbeitern heute schon genügend Studenten ausgebildet und morgen zur Verfügung stehen werden.

Auch wenn es viele Abiturientinnen und Abiturienten an die Hochschulen zieht, kam es z.B. bei den Ingenieurwissenschaften zu einem Rückgang der Erstsemester: meldeten sich 2019/2020 noch 239.985 Studierende, so waren es 2020/2021 nur noch 224.141. Ähnliche Entwicklungen finden wir übrigens auch bei den MINT-Studierenden: hier waren es 2019/2020 noch 108.778 Studierende für die Fächergruppen Mathematik und Naturwissenschaften. In den Jahren 2020/2021 verringerte sich die Zahl auf nur noch 99.274 laut Statistischem Bundesamt.

## Welche weiteren Potentiale zur Gewinnung von Fachkräften stehen zur Verfügung?

Eine Möglichkeit ist die vermehrte Beschäftigung von Frauen. Aufgrund familiärer Strukturen arbeiten diese heutzutage teilweise gar nicht oder nur in Teilzeit. Die Mehrzahl dieser Frauen verfügt jedoch über eine ausgezeichnete Ausbildung, es fehlt aber an attraktiven Möglichkeiten der Vereinbarkeit von Familie und Beruf.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, jüngere Mitarbeiter/innen vom Know How und Erfahrung der Älteren, durch enge Zusammenarbeit voneinander, profitieren zu lassen. Aber auch ungelernte Arbeitskräfte, Menschen mit Migrationshintergrund oder Behinderung sowie Menschen aus dem Ausland sollten noch stärker in Betracht gezogen werden, indem sowohl von Seiten der Unternehmen wie auch der Regierung entsprechende Aus- und Umschulungsprogramme, neue Ausbildungskonzepte, Arbeitserlaubnis, etc. angeboten werden.

Es gibt unterschiedliche Wege, wie man dem Fachkräftemangel begegnen kann. Unternehmen müssen weiter lernen umzudenken und sich sowohl auf vielfältige Bewerbergruppen einlassen, als auch den einzelnen Arbeitsplatz attraktiv gestalten (z.B. Weiterbildungsmaßnahmen, Qualität der Arbeit, Vereinbarkeit von Familie und Beruf), um den Mitarbeiter im Unternehmen zu halten bzw. zu gewinnen.

Grundsätzlich gilt aber, dass Personalentwicklung auch in Zukunft eine entscheidende unternehmerische Herausforderung darstellt, der man sich permanent stellen muss.

## Data Coffee: Schneller und einfacher Zugriff auf Maschinendaten

Forscher am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA haben mit StationConnector eine Software entwickelt, die die Daten ausliest und sie beliebigen Anwendungen zur Verfügung stellt. Die IPA-Informatiker haben ein eigenes Unternehmen gestartet und gehen mit der Software auf den Markt. Data Coffee – so der Name der Ausgründung.

Nicht nur das schiere Volumen, auch die Vielfalt der Daten steigt in Produktionsunternehmen exponentiell an. Richtig genutzt, können sie von großem Nutzen für die Planung und Optimierung von Geschäftsprozessen sein. Doch ein Maschinenpark ist in der Regel inhomogen, er umfasst Geräte verschiedener Generationen und Hersteller mit nicht aufeinander abgestimmten Formaten

und Protokollen – gerade in mittelständischen Unternehmen ist dies häufig der Fall. Aufgrund der unterschiedlichen Steuerungen und Schnittstellen ist es problematisch und aufwendig, Maschinendaten abzugreifen und auszuwerten. Genau hier setzt die Software StationConnector an, indem sie eine einheitliche Schnittstelle über alle Anlagen hinweg bietet. So kann sie Daten einfach und anwendungsspezifisch zwischen Industrieprotokollen, Steuerungen und beliebigen IT-Systemen vermitteln. Station Connector stellt Parameter wie etwa Stromverbrauch, Drehgeschwindigkeit, Temperatur und Winkelposition beliebigen Anwendungen einheitlich zur Verfügung – unabhängig davon, welche Auslesegeschwindigkeit diese erfordern.

[> Weitere Informationen](#)



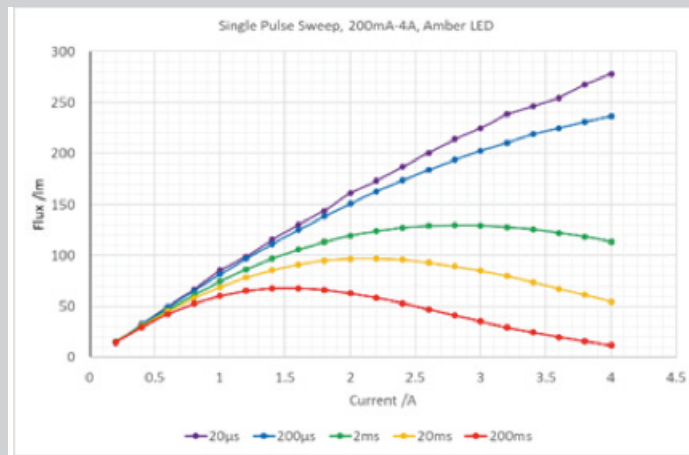
## SphereSpectro 150H – UV-VIS-IR Spektrophotometer

Das Spektrophotometer misst zeitgleich den spektralen Absorptionskoeffizienten ( $\mu\text{a}$ ) und den spektralen, effektiven Streukoeffizienten ( $\mu\text{s}$  – auch reduzierter Streukoeffizient genannt) von diffusen Proben, egal ob fest oder flüssig. Das Tischgerät verfügt über einen großen Probenraum mit mehreren Befestigungsoptionen zur einfachen Handhabung. Für die „Plug & Play“-Auswertung im Sekundentakt zu ermöglichen wird ein intuitives Software-Paket bereitgestellt.

[> Zur Veranschaulichung dieses Video](#)



## Short-Pulse-Testing für temperatur-sensitive High-Power-LEDs



Im Millisekunden-Bereich zeigen die L-I-Kurven einen wärmeinduzierten Roll-over-Effekt, der für Short-Pulse-Messungen verschwindet.

Alle Messungen wurden mit einem CAS 125 und einer Vektrex SMU erstellt.

Quelle: Vektrex

Für die Ausführung von Short-Pulse-Messungen sind Spektralradiometer mit minimalen Messzeiten im Mikrosekunden-Bereich und präzisiertem Trigger erforderlich. Instrument Systems hat deshalb das neue Spektralradiometer CAS 125 mit CMOS-Sensor und eigens entwickelter Ausleseelektronik konzipiert. In Entwicklung und Produktion wird damit eine deutlich präzisere Charakterisierung von LEDs mit hoher Stromdichte oder hoher Leuchtdichte sowie von High-Power-LEDs mit verringerter Wärmeableitung erzielt.

## Weißlichtquelle und IR-Emitter auf einem Chip

LaserLight W-IR SMD, der weltweit erste Weißlicht-Chip mit Umschaltfunktion wurde vom Photonik-Branchenverband SPIE mit dem Prism Award 2021 ausgezeichnet. Auf Befehl verwandelt er sich in einen IR-Emitter mit 905 nm oder 850 nm. Beide Lichtquellen sind auf demselben Chip von 7×7 mm untergebracht. Um die Montage auf der Platine zu erleichtern sind die SMDs optional auch mit Starboard erhältlich.

Mit einem Lichtstrom von 450 Lumen und einer Leuchtdichte von 1000 Mcd/m<sup>2</sup> bietet die Lichtquelle von KYOCERA SLD Laser auch in dieser Doppelfunktion alle Vorteile der LaserLight-Weißlicht-Technologie wie eine hohe Reichweite und einen engen Abstrahlwinkel. Die IR-Wellenlängen werden mit einer Ausgangsleistung von 250 mW emittiert.

Der Chip wird in Europa und den USA durch LASER COMPONENTS vertrieben.

> [Weitere Informationen](#)



## TRIOPTICS erweitert Produktportfolio im Bereich MTF-Messung

Eine neue Technologie im Mobilephone-Markt ist die Under-Display-Kameratechnik – Kameraoptiken sind nahezu unsichtbar unter vollflächiger Displayoberfläche verborgen. Als zwei weitere wesentliche Zukunftstreiber kommen die hochauflösende, professionelle Fotografie sowie die Zoomfähigkeit der Kameras hinzu. Alle drei Trends stellen neue Herausforderungen an die Messtechnik, für die TRIOPTICS jetzt maßgeschneiderte Messlösungen für die Prüfung der Bildqualität durch die Erweiterung des Portfolios der ImageMaster® PRO Messsysteme um drei weitere Modellvarianten herausbringt.

> [Weitere Informationen](#)



## Xolographie als leistungsfähige neue Methode für den 3D-Druck

Grundlage der Erfindung xolo3d GmbH in Berlin-Adlershof sind photoschaltbare Moleküle, die nur am Kreuzungspunkt (Xolographie) von Lichtstrahlen zweier unterschiedlicher Farben eine zielgenaue Aushärtung im gesamten Volumen des Ausgangsmaterials ermöglichen. Im Gegensatz zum konventionellen 3D-Druck liegen die Vorteile der Xolographie in der deutlich höheren Geschwindigkeit und es können vergleichsweise glattere Oberflächen erzeugt werden.

> <https://www.xolo3d.com/xolography.html>



# Neue PHOTONIK-GIGANTEN aus Deutschland

Eine Pressemitteilung und ein Gespräch.

**PR Photonwire, Köln, Juni 2030.**

Heute hat die GoForOptics AG ihre neuen Zahlen vorgelegt und erstmals einen Umsatz von über 1 Mrd. € für das letzte Bilanzjahr ausgewiesen. Damit haben seit 2021 bereits fünf weitere Unternehmen aus der deutschen Photonikszene diese Umsatzschwelle überschritten. Als Triebfeder für die neuen Innovations- und Umsatzerfolge der Branche wird die fundamentale und vollständige Ausrichtung auf Innovation durch empowerte Produktteams gesehen.

Andere Branchen, insbesondere einige der Old Economy, leiden stark unter Innovationmangel. Die Einführung disruptiver Produkte liegt teilweise bereits mehr als zwei Jahrzehnte zurück. Insider gehen davon aus, dass sich in einigen dieser Branchen die Mehrheit der Unternehmen bereits in den

Überlebensmodus und damit auf eine langsame Todesspirale begeben hat.

Spätestens in den 2010er Jahren hatten die Silicon Valley Product Group und die US-Giganten propagiert und vorgemacht, wie Innovation nachhaltig funktioniert. Die bereits erfolgsverwöhnte Photonik-Industrie in Europa hat diese Prinzipien am schnellsten und tiefgreifendsten umgesetzt. Laut Sandra Executive-Coach hat die Branche nicht nur ihre globale Führungsposition weiter ausgebaut, sondern sie ist auch zu einem einflussreichen Vorreiter für andere Industrien avanciert.

---

## Wunschdenken?

**Wir sagen, absolut machbar!  
Start-ups arbeiten bereits  
konsequent daran.**

---



**Autoren:**  
**Dr. Gernot Berger**  
**Dr. Andreas Olmes**  
 High-Tech Gründerfonds  
 Management GmbH



## MARKTVERSAGEN

**GERNOT B.:** Die Optikunternehmen in Deutschland bieten teilweise richtig starke Technologien. Die Entwickler-Community ist hervorragend, wir haben eine exzellente Universitäts- und Forschungslandschaft und es existieren teilweise super Netzwerke und vielfältige Industrie, die skalieren kann. Würdest du – basierend auf den Erkenntnissen des HTGF (15 Jahre Seed-Investments in über 600 Startups) und der Analyse der verschiedenen Facetten des „Erfolgs“ – sagen, dass die hiesige Optikindustrie damit optimal aufgestellt ist, um auch in der Zukunft ein relevanter Treiber für Fortschritt zu sein?

**ANDREAS O.:** Nein. In ganz Europa herrscht ein Marktversagen hinsichtlich Produktmanagement. Nicht Produktmanagement im klassischen Sinne, ...

**G:** ... d.h. der Entwicklung eines Produktes auf Basis vorgegebener Spezifikationen, die z. B. aus dem Vertrieb stammen, ...

**A:** ... genau, das ist Projektmanagement. Die Analysen zeigen klar, dass der relevante Faktor für die erfolgreiche Realisierung von Innovationen ein Produktmanagement ist, das auf autonom arbeitenden, empowernten Produktteams basiert: eine Produktmanagerin, eine Produktdesignerin, eine Tech-Lead Hardware und eine Tech-Lead Software. Alle gleichberechtigt, alle auf derselben Augenhöhe und alle ständig zusammenarbeitend – in einem Raum („co-located“).

**G:** Die haben dann unterschiedliche Verantwortungen: Die beiden Techies sorgen dafür, dass die Lösung machbar ist (feasible). Die Designerin sorgt dafür, dass die Lösung von Kundentop-bediener ist (usable). Und die Produkt-

managerin sorgt dafür, dass die Lösung für die Kunden wertvoll (valuable) und für das Start-up profitabel ist (viable).

**A:** Das Team erhält als Zielvorgabe, gemeinsam ein bisher ungelöstes Problem eines Endkunden vollständig zu lösen.

**G:** Und anstatt des typischen Wasserfallprozesses, bei dem die Hauptrisiken am Ende warten, wenn das Produkt auf Kunden trifft ...

**A:** ... „Release and pray!“ ...

**G:** ... gehen empowerte Teams in zwei Schritten vor: 1. Entdecken des Produkts und 2. Implementierung und Markteinführung des Produkts. Zentral ist am Anfang das Finden der Produkte. Dabei führen die üblichen Fragen „Wie viel Geld wird es bringen?“ und „Wie viel Geld und Zeit wird es kosten?“ fast immer dazu, dass das Potenzial einer Technologie nicht voll ausgeschöpft werden kann. Diese Fragen funktionieren eher bei der Optimierung bestehender Produkte („value capture“), ...



## CHANCE

**A:** ... aber eben nicht für Innovation. – Wir sehen systematisch, dass bei den Unternehmen, die auf solchen Produktteams aufbauen, richtig die Post abgeht – es sind diejenigen, die dauerhaft innovativ sind und wirklich groß werden.

**G:** Wenn sie sich nicht scheuen immer wieder für die Disruption ihres eigenen Geschäfts zu sorgen!?

**A:** Klar. Wenn sie es nicht selbst machen, macht es irgendwann jemand anderes. Diejenigen, die

dieses Produktmanagement als erste erkennen und umsetzen, werden die Branche oder ihr Segment in Europa dominieren.

**G:** Eine riesige Chance!



## PIONIERE

**G:** „Erfunden“ wurde es ja im Silicon Valley, propagiert und weiterentwickelt von der Silicon Valley Product Group mit Marty Cagan und umgesetzt in Unternehmen wie Apple oder Google ...

**A:** ... und anderen Vorreitern, wie dem Trillion Dollar Coach, Bill Campbell.



## START-UPS

**G:** Hinsichtlich dieser Form des Produktmanagements haben Start-ups große Vorteile. Sie arbeiten fast immer eng zusammen, sind stark motiviert – da sie die Freiheit haben, Probleme so zu lösen, wie sie es für richtig halten – und sie sind nicht aus dem Schneider, sobald ein Feature umgesetzt wurde.

**A:** Erfolg wird ja in dem Kontext auch nicht nach Arbeitsergebnissen – als Prozentsatz bereits umgesetzter Features – gemessen, sondern durch erreichte Geschäftsergebnisse – also der Auswirkung der Lösung auf den wirtschaftlichen Erfolg des Start-ups.

**G:** Und wenn die Lösung des Teams das adressierte Problem der Kunden nicht vollständig löst, ist das Start-up aufgrund der stark begrenzten Ressourcen regelrecht gezwungen schnelle

Pivots durchzuführen, um andere Lösungsansätze auszuprobieren.

**A:** Auf diese Art und Weise steht der Endkunde mit seinem Problem immer absolut im Mittelpunkt. Die Kunden werden extrem dankbar sein und sorgen für nachhaltige Umsätze der tatsächlich sinnvollen Produkte.



## High-Tech Gründerfonds

**G:** Viele der Deep-Tech-Start-ups, die uns ansprechen, besitzen wirklich starke Technologie. Ich sehe unsere Aufgabe darin, diese Teams so zu unterstützen, dass sie selbst die Fähigkeiten entwickeln, die Lücken oder Schwächen zu erkennen und die fehlenden Puzzlestücke zu ergänzen. Und meistens finden die sich im Bereich des beschriebenen Produktmanagements und dem entsprechenden Mindset.

**A:** Es geht immer um die Lösung von Kundenproblemen, nicht um die Implementierung von Features. Produkte werden kollaborativ definiert und designt. Risiken werden im Vorfeld angegangen und nicht erst am Ende. – Das Wissen, wie Innovation erreicht werden kann, ist heute vorhanden. Durch die konsequente Anwendung sorgen wir zusammen mit den Teams dafür, dass die Start-ups optimal aufgestellt sind. Die haben dann klare Sicht auf Wege zum Erfolg und sind bereits hervorragend geschult, Disruption ganzer Branchen auszulösen.

### Referenzen

- [1] Marty Cagan, *Inspired*, 2018, John Wiley & Sons.
- [2] Marty Cagan and Chris Jones, *Empowered*, 2020, John Wiley & Sons.
- [3] Andreas Olmes, co-authors: U. Kalapis, Y. Fiebig, G. Haidl, "The n=1 rule", 2021, [www.htgf.de/en/finding-product-market-fit/](http://www.htgf.de/en/finding-product-market-fit/), High-Tech Gründerfonds.
- [4] Colin Bryar and Bill Carr, *Working backwards*, 2021, Macmillan.

### ANZEIGE



Testen von  
optischen Komponenten



Ausrichten und Testen von  
Linsen und Linsensystemen

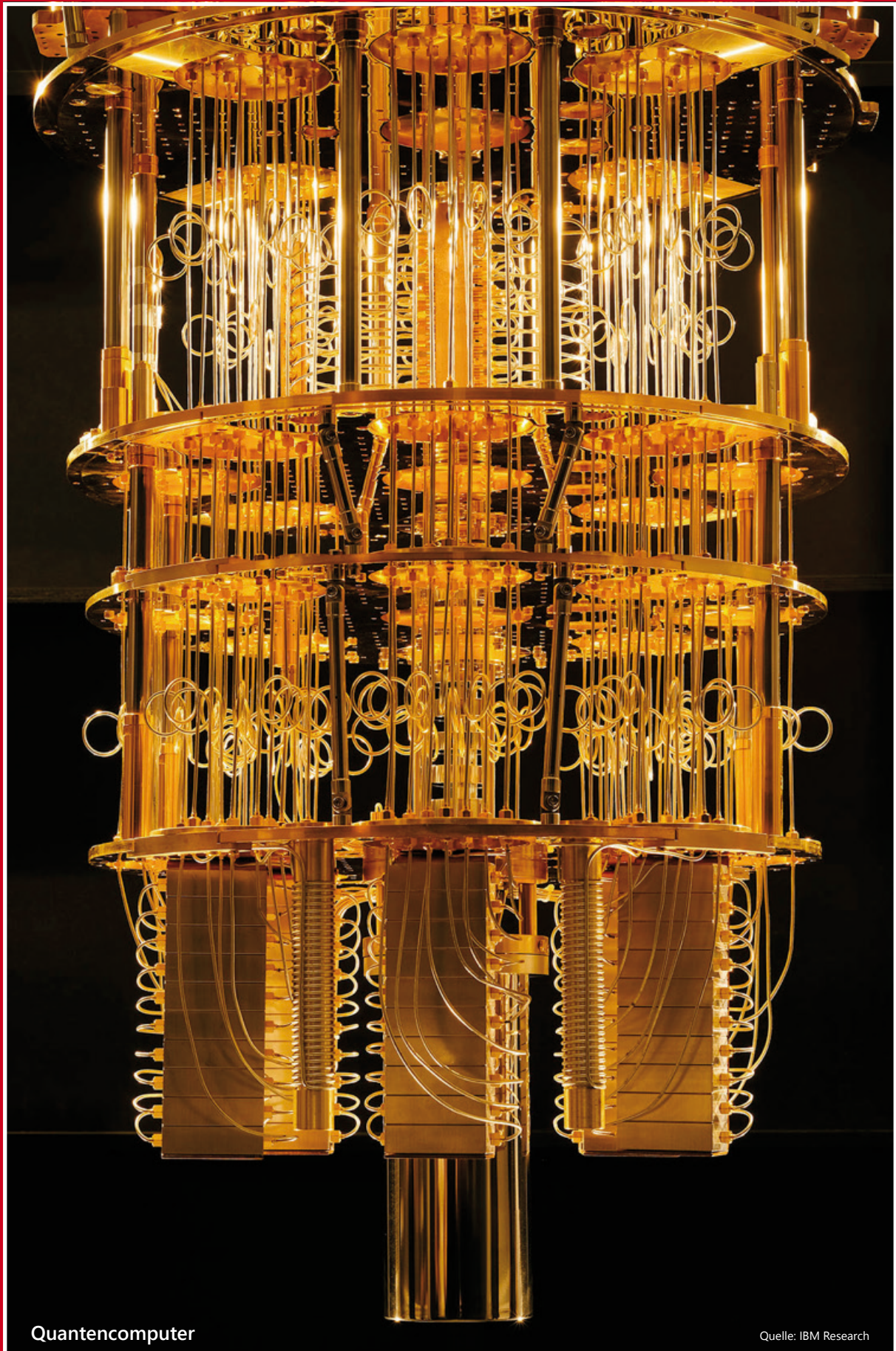


Testen der  
Abbildungsqualität



Ausrichten und Testen von  
Kameramodulen

[www.trioptics.com](http://www.trioptics.com)  
A member of the JENOPTIK Group



Quantencomputer

Quelle: IBM Research

# QUANTEN

## halten Eingang in die Wirtschaft

---

**Autorin:**  
**Dr. Christel Budzinski**

---

Quantencomputer können komplexe Probleme lösen, die herkömmliche Computer an Grenzen stoßen lässt. Die Quantentechnologie birgt viele Potenziale für die Industrie und bedeutet nicht nur einen Vorstoß in der Wissenschaft, sondern auch eine große Chance für innovative Geschäftsmodelle und vielversprechende Anwendungsszenarien.

### Aus dem Elfenbeinturm heraus in die Praxis

Die Quantenphysik wurde vor knapp 120 Jahren unter anderen durch Max Planck, Albert Einstein und Erwin Schrödinger begründet. Damit war die theoretische Basis für weite Teile der modernen Physik erschaffen und erlaubte eine deutlich genauere Beschreibung des Verhaltens von Licht und Materie in sub-atomaren Maßstäben. Der Laser und Halbleiter prägen als Technologien auf Basis der Quantenphysik bereits seit über einem halben Jahrhundert unser Leben. Mit den Quantentechnologien der zweiten Generation stehen nun neuartige Anwendungen bevor, die gezielt quantenmechanische Effekte auf wissenschaftlicher, technischer und wirtschaftlicher Ebene nutzen werden – und die Entwicklung schreitet zügig voran. In den nächsten zehn Jahren werden Unternehmen, Branchen und Startups versuchen, die enormen Fortschritte bei der Erkennung und Manipulation einzelner Quantenobjekte zu nutzen, um ihre Position auf einem globalen Markt weiter auszubauen. Gegenwärtig steht das Quantencomputing im Mittelpunkt der Aktivitäten.

## Was ist Quantencomputing?

Für die Berechnung komplexer Systeme oder Simulationen der Gegenwart und Zukunft reicht es nicht, die klassischen Gesetze der Physik anzuwenden. Das Gedankenexperiment „Schrödingers Katze“ soll das beschreiben. In einer Box befindet sich eine Katze und ein Mechanismus, der die Katze töten kann. Wir wissen nicht, ob sie am Leben ist oder nicht. Quantenmechanisch gesehen befindet sie sich in einem Superzustand, d.h. sie ist sowohl lebendig als auch tot. Bei Öffnung der Tür wird die Katze getötet. Wenn wir das tun, gewinnen ein Ergebnis, das sich jedoch nur durch unser Eingreifen in die Versuchsanordnung ergeben hat und damit willkürlich ausfällt.

Genau das passiert auf einem Quantencomputer. Ein üblicher Computer arbeitet mit einem Bit aus 0 und 1. Eine Einheit auf einem Quantencomputer ist das Qubit, das nicht nur mit 0 oder 1, sondern auch mit einem beliebigen Superzustand dazwischen arbeiten kann. Welcher es ist, entscheidet der Benutzer durch Auslesen des Ergebnisses. Durch diesen Prozess ergeben sich Vorteile bei der Berechnung aufwendiger Szenarien, die mit einem konventionellen Computer berechnet an ihre Grenzen stoßen würden. Bei einem konventionellen Computer wird eine Evaluation aller Lösungen nacheinander ausgeführt, d. h. mit jedem Ergebnis vervielfacht sich die Rechenzeit. Die beste Lösung wird nach Evaluation aller möglichen Lösungen gefunden. Beim Quantencomputer erfolgt eine gleichzeitige Evaluation aller Konfigurationen. Die Bestimmung der Lösung ergibt sich aus der gemessenen Wahrscheinlichkeitsverteilung. Das ist ein heutzutage sehr geschätzter Vorteil: Die Rechenoperationen laufen parallel

und wesentlich schneller als im Computer. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass der Superzustand nicht kopiert werden kann und nach dem Lesen zerstört wird. Damit arbeitet der Quantencomputer sicherer gegen Cyberangriffe. Das Programmieren von Quantencomputern jedoch wird wesentlich aufwendiger und erfordert ein spezielles Fachwissen der Programmierer.

### Anwendungsbereiche

Quantencomputing bietet neue, effiziente Berechnungsverfahren für Aufgabenstellungen, denen der klassische Computer kaum gewachsen ist – selbst, wenn man Hochleistungsrechner benutzt. Das sind vor allem Optimierungsprobleme, Simulation und Künstliche Intelligenz. Beispiele dafür sind die Planung von Infrastrukturen wie Impfbzentren und E-Ladesäulen, die Simulation von chemischen und materialwissenschaftlichen Prozessen und die Erkennung von Anomalien und Betrugsfällen. Die IT-Sicherheit wird erhöht. Das ist ein wesentlicher Vorteil bei der geplanten Errichtung eines Quanteninternets.

### Aktivitäten für das Quantencomputing der Zukunft:

Die Fraunhofer-Gesellschaft gründete in Zusammenarbeit mit IBM Deutschland ein nationales Netzwerk mit Kompetenzzentren in sieben Bundesländern. In Baden-Württemberg startete das Kompetenzzentrum »Quantencomputing« im Februar 2020. Es wird gemeinsam vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg und dem Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart koordiniert. Das Kompetenzzentrum besitzt seit April 2020 Cloud-Zugriff auf

IBM-Quantencomputer in den USA. Ab Januar 2021 wurde ein Quantenrechner in Ehningen in Betrieb genommen, der unter deutschem Recht operiert (Abb.) Der Quantencomputer verfügt über 27 Qubits – ein Anfang, für den Praxisgebrauch sind weitaus mehr Qubits notwendig. Ziel ist die Entwicklung von quantenbasierten Rechenstrategien für die nächste Generation an Hochleistungscomputern. Unter der Beteiligung von derzeit elf Fraunhofer-Instituten werden fachliche Expertisen in regionalen Kompetenzzentren gebündelt.

Weiterhin wurde das Verbundprojekt »SEQUOIA« mit der Projektlaufzeit 2021–2022 begonnen. Das große Projektvorhaben im Kompetenzzentrum Quantencomputing Baden-Württemberg hat drei Ziele:

- Potenziale des Quantencomputing für und mit Unternehmen zu erschließen;
- Software Engineering industrieller, hybrider Quantenanwendungen und algorithmen zu entwickeln;

- ein Anwendungszentrum in Zusammenarbeit mit IBM einzurichten.

Die Landesregierung stellt insgesamt bis zu 40 Millionen Euro bereit, um gemeinsam mit der Fraunhofer Gesellschaft, der Wirtschaft und den Wissenschaftseinrichtungen im Land eine innovative Wissens- und Technologiebasis zum Quantencomputing aufzubauen, weiterzuentwickeln und in die Praxis zu transferieren. 2,3 Milliarden Euro stehen im Konjunktur- und Zukunftspaket der Bundesregierung insgesamt bereit für die Entwicklung von Quantentechnologien und insbesondere für das Quantencomputing. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) startet nun mit der Umsetzung.

- > Mehr:  
Kompetenzzentrum Quantencomputing  
Baden-Württemberg
- > <https://idw-online.de/de/news768670>

## ANZEIGE



**Optik & Beleuchtung**

**KUNSTSTOFF INSTITUTE LÜDENSCHIED**

**Ihr Partner für innovative Lösungen**

Kunststoff-Institut Lüdenscheid | Karolinenstr. 8 | 58507 Lüdenscheid | +49 (0) 23 51.10 64-191 | mail@kimw.de | www.kimw.de



## Forschung an kompakten On-Chip-Photonenpaar-Quellen für die Quantentechnologie

Das Fraunhofer IAF startet ein Projekt zu kompakten On-Chip-Quellen für verschränkte Photonen, die eine wichtige Komponente für die Realisierung industrieller quantentechnologischer Anwendungen sind. Die Wissenschaftler untersuchen im Projekt »QuoAlA« auf Aluminiumgalliumarsenid (AlGaAs) basierende Wellenleiter als Quellen zur Erzeugung von verschränkten Photonen. Im Zentrum stehen grundlegende Untersuchungen von auf AlGaAs-basierenden Photonen-Quellen und ihrer epitaktischen Herstellung. Ziel ist die Erzeugung von Photonenpaaren mit einer hohen Qualität der Verschränkung bei exakt definierter Wellenlänge. Angestrebt wird dabei eine Wellenlänge von 1550 nm, d. h. im Telekom-Bereich (1500-1600 nm). Die Forscher greifen dafür auf umfangreiche Erfahrungen des Fraunhofer IAF in der Epitaxie sowie der Prozesstechnologie zur Realisierung von Wellenleiterstrukturen in verschiedenen III/V-Halbleitermaterialien zurück.

[> Weitere Informationen](#)



## Quanten-Shuttle zum Quantenprozessor

„Made in  
Germany“

Quantencomputer haben das Potenzial, konventionelle Superrechner bei bestimmten Problemen weit zu übertreffen. Beispielsweise wenn es darum geht, Verkehrsströme in Metropolen zu steuern oder Materialien auf atomarer Ebene zu simulieren. Doch noch ist offen, welcher Ansatz den Wettlauf zum Quantenrechner für sich entscheiden wird.

In der Grundlagenforschung gehört Deutschland schon lange zur Weltspitze. Ein Zusammenschluss des Forschungszentrums Jülich mit dem Halbleiter-Hersteller Infineon will die Ergebnisse nun gemeinsam mit Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft (IAF, IPMS), der Leibniz-Gemeinschaft (IHP, IKZ), den Universitäten in Regensburg und Konstanz sowie dem Quanten-Startup HQS in die Praxis bringen. Ziel ist ein Halbleiter-Quantenprozessor „Made in Germany“, der auf dem „Shutteln“ von Elektronen basiert und mit in Deutschland verfügbarer Technologie realisiert werden soll.

Das mit über 7,5 Millionen Euro vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte QUASAR-Projekt will in den nächsten vier Jahren die Grundlagen für die industrielle Fertigung von Quantenprozessoren schaffen.

[> Weitere Informationen](#)

# Chromatischer Lichtteilcheneffekt für die Entwicklung photonischer Quantennetzwerke

In einem Schlüsselexperiment ist es gelungen, die bislang definierten Grenzen für Photonenanwendungen zu überschreiten: Anahita Khodadad Kashi und Prof. Dr. Michael Kues vom Institut für Photonik und dem Exzellenzcluster PhoenixD der Leibniz Universität Hannover haben einen neuartigen Interferenzeffekt demonstriert. [> siehe Video](#)

Die Wissenschaftlerin und der Wissenschaftler haben damit nachgewiesen, dass neue farbcodierte photonische Netzwerke erschlossen und die Zahl der involvierten Photonen, d.h. Lichtteilchen, skaliert werden können. Es gelang mittels Telekommunikationskomponenten einen Frequenzstrahlteiler realisieren und unabhängig erzeugte Photonen mit unterschiedlichen Farben, d.h. Frequenzen, quantenmechanisch zu interferieren und einen sogenannten Hong-Ou-Mandel-Effekt nachzuweisen. Dieses Zwei-Photonen-Interferenz-Phänomen kann als Fundament für ein Quanten-

internet, nicht-klassische Kommunikation und Quantencomputer dienen. Das heißt, die Ergebnisse könnten für frequenzbasierte Quantennetzwerke eingesetzt werden. Eine weitere Besonderheit an der jetzt gemachten Neuentdeckung: Diese Steigerung der Leistungsfähigkeit ließe sich mit bestehender Infrastruktur, also gängigen Glasfaseranschlüsse für die Anbindung an das Internet, verwenden. Die Nutzung von Quantentechnologien zu Hause könnte damit also theoretisch in Zukunft ermöglicht werden.

[> Weitere Informationen](#)

# Positionspapier von Photonics21 und Quantum Flagship zu QPICs

Photonic Integration im Allgemeinen und quantenphotonische integrierte Schaltkreise (QPICs) im Besonderen gelten als Wegbereiter für die Quantentechnologie. Gleichzeitig wird die Quantentechnologie als ein wichtiger wachsender Markt für die Integrierte Photonik angesehen.

Um vom Quantum Flagship der EU und der Photonics21 European Technology Platform zu profitieren, die diese Bereiche in Europa aktiv unterstützen, sind gemeinsame Anstrengungen erforderlich, um technologische Vorreiterrolle zu erlangen und neue Arbeitsplätze zu schaffen. In diesem Zusammenhang wurde aus beiden Initiativen eine gemeinsame Fokusgruppe mit dem Ziel gebildet, QPICs zu einer europäischen Priorität zu machen und längerfristig eine europäische QPIC-Infrastruktur aufzubauen.

Die Fokusgruppe hat einen Entwurf eines Positionspapiers ausgearbeitet, in dem die erforderlichen Anstrengungen ausführlicher beschrieben werden und das zum Download zur Verfügung steht. Dieses Positionspapier soll dazu dienen, die Grundlage für die künftige Zusammenarbeit von Projekten aus beiden Bereichen und einen besseren Zugang zur Infrastruktur und gemeinsame Finanzierungsaktivitäten zu schaffen.

[> Weitere Informationen](#)

[> Zum Positionspapier](#)



## Über Photonics 21:

Die Europäische Technologieplattform Photonics21 vereint die Mehrheit der führenden Photonikunternehmen und relevanten FuE-Akteure entlang der gesamten wirtschaftlichen Wertschöpfungskette in ganz Europa. Heute hat Photonics21 mehr als 2500 Mitglieder.



## Über Quantum Flagship:

Quantum Flagship ist eine groß angelegte Initiative, die über einen Zeitraum von 10 Jahren auf der Ebene von 1 Mrd. EUR finanziert wird. Es besteht aus einer kohärenten Reihe von Forschungs- und Innovationsprojekten, die im Rahmen eines gründlichen Peer-Review-Prozesses ausgewählt wurden. Auf der Grundlage der strategischen Forschungsagenda des Flaggschiffs werden Aufforderungen zur Einreichung von Projekten veröffentlicht, um sicherzustellen, dass alle Akteure bei der Verfolgung der Ziele des Flaggschiffs aufeinander abgestimmt sind.

## Photonics Center in Joensuu (Finnland) öffnet im Herbst 2021 seine Pforten



Das neugegründete Photonics Center in Joensuu soll die Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft, Forschung und Bildungseinrichtungen stärken.

Photonikunternehmen und Anwender können die Dienstleistungen in Anspruch nehmen und auf eine moderne Infrastruktur und die Expertise von Experten unter einem Dach zurückgreifen. Das Photonics Center unterstützt die Unternehmen bei der Geschäftsentwicklung, Kapitalbeschaffung und Vernetzung.

Das Photonics Center unterstützt Unternehmen auch bei der Anbahnung von Kooperationen und vermittelt Kontakte zu internationalen Partnern.

Nach der Gründung im Frühjahr 2021 soll der Betrieb in Herbst losgehen.

Das Photonics Center ist eine gemeinsame Initiative der Stadt Joensuu, dem Regionalrat Nordkarelien, der Universität Ostfinnland, dem Institut für Photonik, der Fachhochschule Karelien, Riveria, The University Properties of Finland Ltd, PREIN – Photonics Research and Innovation und Business Joensuu.

[> Photonics Center](#)

[> Zur Pressemitteilung](#)

## Termine 2021/2022

| Veranstaltung                                                                              | Datum             | Ort                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------|
| JUNI 2021                                                                                  |                   |                                                              |
| <b>INNOspace Masters Konferenz und Preisverleihung</b>                                     | 24.06.2021        | Berlin                                                       |
| JULI 2021                                                                                  |                   |                                                              |
| <b>5. Additive Manufacturing Forum Berlin 2021</b>                                         | 21.07.–22.07.2021 | Berlin                                                       |
| AUGUST 2021                                                                                |                   |                                                              |
| <b>10. Internationale Sommerschule „Trends und neue Entwicklungen in der Lasertechnik“</b> | 23.–26.08.2021    | virtuell                                                     |
| <b>Speedkongress Optik und Beleuchtung</b>                                                 | 31.08.2021        | Lüdenscheid/<br>Berlin/Villingen-<br>Schwenningen/<br>Online |
| SEPTEMBER 2021                                                                             |                   |                                                              |
| <b>38th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition</b>                   | 06.–10.09.2021    | Lissabon                                                     |
| <b>IAA MOBILITY</b>                                                                        | 07.–12.09.2021    | München                                                      |
| <b>122. DGaO Jahrestagung</b>                                                              | 21.–23.09.2021    | Bremen                                                       |
| <b>30. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium</b>                                           | 22./23.09.2021    | Aachen/Hybrid                                                |
| <b>W3+ Rheintal</b>                                                                        | 22./23.09.2021    | Dornbirn                                                     |
| <b>AI for Lasertechnology Conference</b>                                                   | 28./29.09.2021    | virtuell                                                     |
| <b>11. Wetzlarer Herbsttagung „Moderne Optikfertigung“</b>                                 | 28./29.09.2021    | Wetzlar                                                      |

## Termine 2021/2022

| Veranstaltung                                                       | Datum          | Ort        |
|---------------------------------------------------------------------|----------------|------------|
| OKTOBER 2021                                                        |                |            |
| <b>27th International Semiconductor Laser Conference – ISLC2021</b> | 10.–14.10.2021 | Potsdam    |
| <b>SPIE OPTIFAB</b>                                                 | 18.–21.10.2021 | Rochester  |
| NOVEMBER 2021                                                       |                |            |
| <b>COMPAMED</b>                                                     | 16.18.11.2021  | Düsseldorf |
| <b>4. OptecNet Jahrestagung</b>                                     | 24.–25.11.2021 | Hannover   |
| DEZEMBER 2021                                                       |                |            |
| <b>International Laser Symposium 2021</b>                           | 06.–08.12.2021 | virtuell   |
| <b>4th International Symposium Additive Manufacturing</b>           | 06.–08.12.2021 | Dresden    |

## Termine 2022

| Veranstaltung                   | Datum          | Ort           |
|---------------------------------|----------------|---------------|
| JANUAR 2022                     |                |               |
| <b>SPIE Photonics West</b>      | 25.–27.01.2022 | San Francisco |
| APRIL 2022                      |                |               |
| <b>LASER World of Photonics</b> | 26.–29.04.2022 | München       |
| MAI 2022                        |                |               |
| <b>Control</b>                  | 03.–06.05.2022 | Stuttgart     |
| SEPTEMBER 2022                  |                |               |
| <b>Optatec</b>                  | 27.–29.09.2022 | Frankfurt     |

## APPLIKATIONEN

### SYSTEME FÜR BILDVERARBEITUNG UND MACHINE VISION



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

### SYSTEME FÜR BIOPHOTONIK, LIFE SCIENCE UND PHARMA



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

### SYSTEME FÜR DRUCKTECHNOLOGIE UND GRAPHIK



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

### SYSTEME FÜR FORSCHUNG UND WISSENSCHAFT



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

### SYSTEME FÜR DIE HALBLEITER INDUSTRIE



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

## APPLIKATIONEN

### SYSTEME FÜR SENSORTECHNOLOGIE



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

## BELEUCHTUNG



**Kunststoff-Institut Lüdenscheid**  
+49 (0) 2351 1064-19  
mail@kunststoff-institut.de  
www.kunststoff-institut-luedenscheid.de

### INTELLIGENTE SYSTEME ZUR BELEUCHTUNGSSTEUERUNG



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

## LEDS UND KOMPONENTEN



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

## BILDGEBUNG

### FASEROPTISCHE BELEUCHTUNG



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

## BILDGEBUNG

### LED BELEUCHTUNG



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

### BIOPHOTONIK UND MEDIZINTECHNIK



**Multiphoton Optics**  
+49 (0) 931 908792 00  
info@multiphoton.de  
www.multiphoton.de

## BIOTECHNOLOGIE

### ZELLBIOLOGIE



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

### MANIPULATIONS-TECHNIKEN

### OPTISCHE PINZETTE



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

| BIOPHOTONIK UND MEDIZINTECHNIK                                                                                                                                                       |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| MEDIZIN                                                                                                                                                                              |  |
| BIOCHEMIE                                                                                                                                                                            |  |
|  <p><b>Omicron</b><br/>+49 (0) 6106 8224-0<br/>mail@omicron-laser.de<br/>www.omicron-laser.de</p>   |  |
| DERMATOLOGIE                                                                                                                                                                         |  |
|  <p><b>Omicron</b><br/>+49 (0) 6106 8224-0<br/>mail@omicron-laser.de<br/>www.omicron-laser.de</p>   |  |
| HUMANGENETIK                                                                                                                                                                         |  |
|  <p><b>Omicron</b><br/>+49 (0) 6106 8224-0<br/>mail@omicron-laser.de<br/>www.omicron-laser.de</p> |  |
| NEUROLOGIE                                                                                                                                                                           |  |
|  <p><b>Omicron</b><br/>+49 (0) 6106 8224-0<br/>mail@omicron-laser.de<br/>www.omicron-laser.de</p> |  |
| PATHOLOGIE UND FORENSISCHE MEDIZIN                                                                                                                                                   |  |
|  <p><b>Omicron</b><br/>+49 (0) 6106 8224-0<br/>mail@omicron-laser.de<br/>www.omicron-laser.de</p> |  |

| BIOPHOTONIK UND MEDIZINTECHNIK                                                                                                                                                       |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| MEDIZIN                                                                                                                                                                              |  |
| MEDIZIN, ANDERE APPLIKATIONEN                                                                                                                                                        |  |
|  <p><b>Omicron</b><br/>+49 (0) 6106 8224-0<br/>mail@omicron-laser.de<br/>www.omicron-laser.de</p>   |  |
| MIKROSKOPIE UND BILDGEBUNG                                                                                                                                                           |  |
| ENDOSKOPIE                                                                                                                                                                           |  |
|  <p><b>Omicron</b><br/>+49 (0) 6106 8224-0<br/>mail@omicron-laser.de<br/>www.omicron-laser.de</p>   |  |
| LINEARE- UND NICHT-LINEARE FLUORESCENZ-BILDGEBUNG                                                                                                                                    |  |
|  <p><b>Omicron</b><br/>+49 (0) 6106 8224-0<br/>mail@omicron-laser.de<br/>www.omicron-laser.de</p> |  |
| LINEARE- UND NICHT-LINEARE VIBRATIONSMIKROSKOPIE                                                                                                                                     |  |
|  <p><b>Omicron</b><br/>+49 (0) 6106 8224-0<br/>mail@omicron-laser.de<br/>www.omicron-laser.de</p> |  |
| MIKROSKOPIE IM ALLGEMEINEN (WEISSLICHT, PHASENKONTRAST)                                                                                                                              |  |
|  <p><b>Omicron</b><br/>+49 (0) 6106 8224-0<br/>mail@omicron-laser.de<br/>www.omicron-laser.de</p> |  |

| BIOPHOTONIK UND MEDIZINTECHNIK                                                                                                                                                         |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| SPEKTROSKOPIE                                                                                                                                                                          |  |
| FLUORESCENZSPEKTROSKOPIE                                                                                                                                                               |  |
|  <p><b>Omicron</b><br/>+49 (0) 6106 8224-0<br/>mail@omicron-laser.de<br/>www.omicron-laser.de</p>   |  |
| PHOTOLUMINESZENZ                                                                                                                                                                       |  |
|  <p><b>Omicron</b><br/>+49 (0) 6106 8224-0<br/>mail@omicron-laser.de<br/>www.omicron-laser.de</p>   |  |
| RAMAN-SPEKTROSKOPIE                                                                                                                                                                    |  |
|  <p><b>Omicron</b><br/>+49 (0) 6106 8224-0<br/>mail@omicron-laser.de<br/>www.omicron-laser.de</p> |  |
| THERAPIE                                                                                                                                                                               |  |
| LASERBASIERTE THERMOTHERAPIE                                                                                                                                                           |  |
|  <p><b>Omicron</b><br/>+49 (0) 6106 8224-0<br/>mail@omicron-laser.de<br/>www.omicron-laser.de</p> |  |

## BIOPHOTONIK UND MEDIZINTECHNIK

### THERAPIE

### PHOTODYNAMISCHE THERAPIE



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

### PHOTOKOAGULATION



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

## Dienstleistungen



**Kunststoff-Institut Lüdenschied**  
+49 (0) 2351 1064-19  
mail@kunststoff-institut.de  
www.kunststoff-institut-luedenscheid.de

### BEHÖRDEN, INSTITUTIONEN, ORGANISATIONEN



**TECHNOLOGIELAND  
HESSEN**  
Vernetzt. Zukunft. Gestalten.

**Technologieland Hessen**  
+49 (0) 611 95017-8672  
info@technologieland-hessen.de  
www.technologieland-hessen.de

### Dienstleistungen, ANDERE



**TECHNOLOGIELAND  
HESSEN**  
Vernetzt. Zukunft. Gestalten.

**Technologieland Hessen**  
+49 (0) 611 95017-8672  
info@technologieland-hessen.de  
www.technologieland-hessen.de

## Dienstleistungen

### KUNDENSPEZIFISCHE LÖSUNGEN



**IMM Photonics GmbH**  
+49 (0) 89 321412-0  
sales@imm-photonics.de  
www.imm-photonics.de

### OPTIKDESIGN UND INGENIEURDIENSTLEISTUNGEN



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

### TECHNOLOGISCHE BERATUNG UND AGENTUREN



**TECHNOLOGIELAND  
HESSEN**  
Vernetzt. Zukunft. Gestalten.

**Technologieland Hessen**  
+49 (0) 611 95017-8672  
info@technologieland-hessen.de  
www.technologieland-hessen.de

## Dioden-Laser

### DIODEN-LASER MODULE



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

### DIODEN-LASER SYSTEME



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

## Dioden-Laser

### GEPULTE DIODEN-LASER



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

### FERTIGUNGSTECHNOLOGIEN FÜR OPTIKEN



**Kunststoff-Institut Lüdenschied**  
+49 (0) 2351 1064-19  
mail@kunststoff-institut.de  
www.kunststoff-institut-luedenscheid.de

### BESCHICHTUNGEN VON STRAHLETLERN



**Layertec**  
+49 (0) 36453 7440  
info@layertec.de  
www.layertec.de

### DICHROITSCHES BESCHICHTUNGEN



**Layertec**  
+49 (0) 36453 7440  
info@layertec.de  
www.layertec.de

### DIELEKTRISCHE BESCHICHTUNGEN



**Layertec**  
+49 (0) 36453 7440  
info@layertec.de  
www.layertec.de

## FERTIGUNGSTECHNOLOGIEN FÜR OPTIKEN

### HOCHREFLEKTIERENDE BESCHICHTUNGEN



**Layertec**  
+49 (0) 36453 7440  
info@layertec.de  
www.layertec.de

### METALLISCHE BESCHICHTUNGEN



**Layertec**  
+49 (0) 36453 7440  
info@layertec.de  
www.layertec.de

### BESCHICHTUNGEN, VERSCHIEDENE



**Edmund Optics**  
+49 (0) 6131 5700 0  
sales@edmundoptics.de  
www.edmundoptics.de

### FERTIGUNGSTECHNOLOGIEN FÜR OPTISCHE SYSTEME, SONSTIGES



**Multiphoton Optics**  
+49 (0) 931 908792 00  
info@multiphoton.de  
www.multiphoton.de

### FERTIGUNGSANLAGEN FÜR OPTIKEN, SONSTIGES



**Multiphoton Optics**  
+49 (0) 931 908792 00  
info@multiphoton.de  
www.multiphoton.de

## FERTIGUNGSTECHNOLOGIEN FÜR OPTIKEN

### ULTRAPRÄZISIONSBEARBEITUNG



**Multiphoton Optics**  
+49 (0) 931 908792 00  
info@multiphoton.de  
www.multiphoton.de

### ULTRAPRÄZISIONSKOMPONENTEN



**AMETEK**  
+49 6150 543 7060  
https://www.taylor-hobson.com.de/  
contactus/contactus  
www.ametek.de

### KOMPONENTEN ZUR LASERSTRAHLANALYSE



**Multiphoton Optics**  
+49 (0) 931 908792 00  
info@multiphoton.de  
www.multiphoton.de

### KOMPONENTEN FÜR DIE OPTISCHE ÜBERTRAGUNG

### FASERKOPPLER



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

### OPTISCHE FASERN



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

## LASERMATERIALBEARBEITUNG



**Hamamatsu Photonics**  
+49 (0) 8152 3750  
Info@hamamatsu.de  
www.hamamatsu.com

### LASER- SPEKTROSKOPIE UND -ANALYSTIK, SPEKTROSKOPIE

### FEMTO- UND PIKOSEKUNDEN-SPEKTROSKOPIE



**Hamamatsu Photonics**  
+49 (0) 8152 3750  
Info@hamamatsu.de  
www.hamamatsu.com

### LASERSYSTEME FÜR DIE FERTIGUNGSTECHNIK



**Multiphoton Optics**  
+49 (0) 931 908792 00  
info@multiphoton.de  
www.multiphoton.de

### LASER UND OPTOELEKTRONIK



**Hamamatsu Photonics**  
+49 (0) 8152 3750  
Info@hamamatsu.de  
www.hamamatsu.com



**IMM Photonics GmbH**  
+49 (0) 89 321412-0  
sales@imm-photonics.de  
www.imm-photonics.de

## LASER UND OPTOELEKTRONIK

### DIODENGEpumpte FESTKÖRPERLASER



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

### LASERKOMPONENTEN, SPIEGEL



**Layertec**  
+49 (0) 36453 7440  
info@layertec.de  
www.layertec.de

### LASERKOMPONENTEN, VERSCHIEDENE



**Edmund Optics**  
+49 (0) 6131 5700 0  
sales@edmundoptics.de  
www.edmundoptics.de

## LEDs UND KOMPONENTEN



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

## NICHT-KOHÄRENTE LICHT- UND STRAHLENQUELLEN



**Omicron**  
+49 (0) 6106 8224-0  
mail@omicron-laser.de  
www.omicron-laser.de

## OPTIK



**Edmund Optics**  
+49 (0) 6131 5700 0  
sales@edmundoptics.de  
www.edmundoptics.de

### MEHRELEMENTLINSEN



**Multiphoton Optics**  
+49 (0) 931 908792 00  
info@multiphoton.de  
www.multiphoton.de

### MIKROOPTISCHE KOMPONENTEN



**Multiphoton Optics**  
+49 (0) 931 908792 00  
info@multiphoton.de  
www.multiphoton.de

### OPTISCHE SPIEGEL



**Layertec**  
+49 (0) 36453 7440  
info@layertec.de  
www.layertec.de

### POLARISATOREN



**Layertec**  
+49 (0) 36453 7440  
info@layertec.de  
www.layertec.de

## OPTIK

### STRAHLTEILER



**Layertec**  
+49 (0) 36453 7440  
info@layertec.de  
www.layertec.de

### OPTIKPRÜFGERÄTE

### SpeKTROSKOPISCHE MESSUNGEN



**Hamamatsu Photonics**  
+49 (0) 8152 3750  
Info@hamamatsu.de  
www.hamamatsu.com

### OPTISCHE INFORMATION UND KOMMUNIKATION

### OPTISCHE TRANSMITTER, RECEIVER UND TRANSCEIVER



**IMM Photonics GmbH**  
+49 (0) 89 321412-0  
sales@imm-photonics.de  
www.imm-photonics.de

### OPTIKPRÜFGERÄTE

### SpeKTROSKOPISCHE MESSUNGEN



**Hamamatsu Photonics**  
+49 (0) 8152 3750  
Info@hamamatsu.de  
www.hamamatsu.com

OPTISCHE INFORMATION  
UND KOMMUNIKATION

OPTISCHE TRANSMITTER,  
RECEIVER UND TRANSCEIVER



**IMM Photonics GmbH**  
+49 (0) 89 321412-0  
sales@imm-photonics.de  
www.imm-photonics.de

OPTISCHE MESSTECHNIK



**Kunststoff-Institut Lüdenscheid**  
+49 (0) 2351 1064-19  
mail@kunststoff-institut.de  
www.kunststoff-institut-luedenscheid.de

INTERFEROMETER



**AMETEK**  
+49 6150 543 7060  
[https://www.taylor-hobson.com.de/  
contactus/contactus](https://www.taylor-hobson.com.de/contactus/contactus)  
www.ametek.de

SENSOREN, TESTS UND MESSTECHNIK

TESTSYSTEME FÜR OPTISCHE  
KOMPONENTEN



**AMETEK**  
+49 6150 543 7060  
[https://www.taylor-hobson.com.de/  
contactus/contactus](https://www.taylor-hobson.com.de/contactus/contactus)  
www.ametek.de



### **Herausgeber**

Photonics Hub GmbH  
Ober-Saulheimer-Straße 6  
55286 Wörrstadt

Handelsregister: HRB 48437  
Registergericht: Amtsgericht: Mainz  
Vertreten durch die Geschäftsführerin:  
Daniela Reuter

### **Kontakt**

Telefon: +49 67 32-93 51 22  
Telefax: +49 67 32-93 51 23  
E-Mail: [info@photonics-hub.de](mailto:info@photonics-hub.de)  
Umsatzsteuer-Identifikationsnummer  
gemäß § 27 a Umsatzsteuergesetz:  
DE320644526

### **Layout**

Ulrike Speyer  
Dipl. Grafik-Designerin  
Am Rabenkopf 6  
55270 Ober-Olm  
E-Mail: [ulispeyer@online.de](mailto:ulispeyer@online.de)