

# DGaO

Deutsche Gesellschaft für angewandte Optik  
The German Branch of the European Optical Society

© Stuttgart-Marketing GmbH



## **EINLADUNG UND PROGRAMM**

### **126. JAHRESTAGUNG**

Universität Stuttgart, 10.06.–14.06.2025



Universität Stuttgart  
Institut für Technische Optik



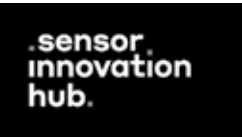
[www.dgao.de](http://www.dgao.de)

Unterstützer der 126. Jahrestagung der DGaO

Hauptsponsor



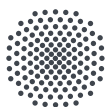
Sponsoren



# DGaO



Deutsche Gesellschaft für angewandte Optik  
The German Branch of the European Optical Society



**Universität Stuttgart**

## **EINLADUNG**

Die Deutsche Gesellschaft für angewandte Optik

Präsidentin: Ricarda Kafka

lädt ein

**zur 126. Jahrestagung der DGaO**

**vom 10. Juni bis 14. Juni 2025**

und zur satzungsgemäßen

**ordentlichen Mitgliederversammlung der DGaO**

**am 13. Juni 2025**

in Stuttgart

zur Anmeldung



<https://dgao.de/anmeldung-jahrestagung/>



## **Programm-Komitee 2025**

Prof. Dr. Christian Faber, Hochschule Landshut (Vorsitz)  
Prof. Dr.-Ing. Stephan Reichelt, ITO Universität Stuttgart (Tagungsgeschäftsführer)  
Dr. Alexander Bielke, ASML Berlin  
Dr. Robert Brüning, Carl Zeiss SMT GmbH Jena  
Dr. Ulrike Böhm, Carl Zeiss AG Oberkochen  
Adrian Grewe, Carl Zeiss AG Jena  
Marco Hanft, Carl Zeiss AG Jena  
Dr. Meike Hofmann, TU Ilmenau  
Christof Pruß, ITO Universität Stuttgart  
Dr. Henning Rehn, FISBA AG St. Gallen  
M. Sc. Christian Schober, ITO Universität Stuttgart  
Dr. Christian Sinn, Köln Optik  
M. Sc. Nicole Grubert, RWTH Aachen University, TOS  
Dr. Andreas Walter Stark, Universität Jena  
Prof. Dr. Oliver Baumann, HAW Hamburg  
M. Sc. Marco Wende, ITO Universität Stuttgart  
Dr. Andrea Toulouse, ITO Universität Stuttgart

## **DGaO-Proceedings – [www.dgao-proceedings.de](http://www.dgao-proceedings.de)**

Die Autoren haben seit dem Jahr 2004 die Gelegenheit, ihre Tagungsbeiträge in der DGaO Internet-Zeitschrift DGaO-Proceedings zu veröffentlichen. Die Beiträge werden als zweiseitige Manuskripte oder auch ab 2008 erstmalig als Poster veröffentlicht. Beiträge in den DGaO-Proceedings sind zitierfähig. Im Jahr 2024 wurde auf die Beiträge über 10.000-mal zugegriffen.

Die Frist für die Einreichung der Beiträge von der geplanten Jahrestagung 2025 endet am 31.07.2025.

Eine Anleitung für die Erstellung der zweiseitigen Beiträge, weitere Hinweise sowie ein Template finden Sie in Kürze unter folgendem Link:

[http://www.dgao-proceedings.de/hinweise/hinweise\\_d.php](http://www.dgao-proceedings.de/hinweise/hinweise_d.php)

Eds.: G. Häusler, C. Faber

## **Tagungsleitung**

Prof. Dr.-Ing. Stephan Reichelt - Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart

## **Inhalt**

Programmübersicht .....	4–5
Tagungsprogramm: Vorträge .....	6–7
Mittwoch .....	8
Donnerstag .....	44
Freitag .....	60
Samstag .....	90
Tagungsprogramm: Poster .....	104
Autorenverzeichnis .....	144
Mitteilungen der Tagungsgeschäftsführung .....	152
Einladung zur DGaO-Mitgliederversammlung .....	172
Werbeseiten der Aussteller .....	176

# Programmübersicht

## Mittwoch, 11. Juni 2025

Zeit	Saal	Vortrag	Titel / Topic	Seite
09:00	A		<b>Eröffnung</b>	
09:30	A	H1	<i>S. Reichelt</i> : Single-Shot Optical Metrology: Principles, Methods, and Applications	8
10:00			<b>Kaffeepause</b>	
10:30	A	A1-A4	Speckles	10
10:30	B	B1-B4	Optical Computing und maschinelles Lernen	14
11:30			<b>Mittagspause</b>	
12:30	A	H2	<i>H. Gross</i> : Simulation und Tolerierung optischer Systeme mit Freiformflächen	18
13:00			<b>Pause</b>	
13:15	A	A5-A9	Optikdesign	20
13:15	B	B5-B9	Additive Fertigung	26
14:30			<b>Tagungsfoto</b>	
14:45			<b>Kaffeepause</b>	
15:15	A	A10-A15	Visuelle Wahrnehmung	32
15:15	B	B10-B15	Medizinische Diagnostik und Überwachung	38
16:45 bis 18:30	Foyer OG		<b>Poster-Session</b>	

## Donnerstag, 12. Juni 2025

Zeit	Saal	Vortrag	Titel / Topic	Seite
08:30	A	H3	<i>C. Sheppard</i> : Image scanning microscopy	44
09:00	A	H4	<i>S. Hartel</i> : From differentiable modelling to system optimization: The full journey using Geometric Algebra exemplarily applied to improve light sectioning systems	44
09:30			<b>Pause</b>	
09:45	A	A16-A19	Multiphysik- und Strahlmodellierung	46
09:45	B	B16-B19	Indirekte Formbestimmung	50
10:45			<b>Kaffeepause</b>	
11:15	A	A20-A23	Strahlformung	54
11:15	B	B20	Podiumsdiskussion Karriereperspektiven in der Optik	58
12:15			<b>Mittagspause</b>	
13:15	A		DGaO-Nachwuchspreis	58
14:15			Gang zu den Bussen	
14:30			<b>Networking Event</b> : Genussvolle Entdeckungstour: Stuttgart & Weinregion	156
18:00			<b>Networking Ausklang</b> : Brauhaus Restaurant Trollinger - Feuersee	

# Programmübersicht

**Freitag, 13. Juni 2025**

Zeit	Saal	Vortrag	Titel / Topic	Seite
09:00	A	H5	<i>F. Dötzer</i> : Interferometrie oder Holografie? - Unterschiede und Gemeinsamkeiten interferometrischer Methoden unter Berücksichtigung des Messobjekts und Detektors	60
09:30	<b>Pause</b>			
09:45	A	A24-A27	Interferometrie I	62
09:45	B	B24-B27	Beleuchtungsoptik	66
10:45	<b>Kaffeepause</b>			
11:15	A	A28-A31	Interferometrie II	70
11:15	B	B28-B31	Faseroptik und integrierte Optik	74
12:15	<b>Mittagspause</b>			
13:15	A	A32-A37	Neue Bildgebungstechnologien und Spezialkameras	78
13:15	B	B32-B37	Diffraktive optische Elemente	84
14:45	<b>Kaffeepause</b>			
15:15	A	<b>DGaO-Mitgliederversammlung</b>		180
15:15	Foyer OG	<b>Poster</b>		
18:00	Hotel Maritim	<b>Fraunhofer-Vorlesung: Peter de Groot</b> Did I invent that? Reflections on creativity and innovation in optics		
19:00	Hotel Maritim	<b>Gala Dinner</b>		

**Samstag, 14. Juni 2025**

Zeit	Saal	Vortrag	Titel / Topic	Seite
09:00	A	H6	<i>S. Risse</i> : Fertigung und Charakterisierung von Metall-optiken mit Freiformflächen	90
09:30	A	H7	<i>G. Brehm</i> : Hunting the picometer - Most accurate mirrors of the world to continue Moore's law	90
10:00	<b>Kaffeepause</b>			
10:30	A	A38-A42	Lasermaterialbearbeitung und Hochleistungslaser	92
10:30	B	B38-B42	Komponenten- und Systemmodellierung	98
12:00	<b>Ende der Tagung</b>			

# Tagungsprogramm

## Dienstag, 10. Juni 2025

ab 14:00 Uhr	<b>Begrüßungsnachmittag und Registrierung - Tagungsbüro im Internationalen Zentrum IZ</b>
14:30 – 17:00 Uhr	<b>Institutsführungen auf dem Campus Vaihingen</b>
18:00 – 18:30 Uhr	<b>Vortrag „Der neue Stuttgarter Hauptbahnhof - Neuland in Planung und Realisierung“ Angelika Schmid (Werner Sobek AG)</b>
bis 19:30 Uhr	<b>Fingerfood &amp; Drinks</b>

## Mittwoch, 11. Juni 2025

ab 08:00 Uhr	<b>Registrierung im Tagungsbüro</b>
09:00 Uhr	<b>Begrüßung und Eröffnung der Tagung</b>

## Donnerstag, 12. Juni 2025

ab 14:30 Uhr	<b>Networking Event (Rahmenprogramm)</b> Genussvolle Entdeckungstour: Stuttgart & Weinregion Ausklang im Brauhaus Trollinger am Feuersee
--------------	--

## Freitag, 13. Juni 2025

18:00 – 19:00 Uhr	<b>Fraunhofer-Vorlesung</b> Hotel Maritim - Stuttgart
19:00 – 23:00 Uhr	<b>Gala Dinner</b> Hotel Maritim



Registrierung

Registrierung

Eröffnungssitzung

**Single-Shot Optical Metrology: Principles, Methods, and Applications**

S. Reichelt

Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart  
reichelt@ito.uni-stuttgart.de

Optical measurement techniques offer significant advantages: they operate contact-free, non-destructively, and highly parallelized, enabling short measurement times while maintaining high resolution. Single-shot methods take this a step further by capturing all necessary information for a measurement in a single acquisition. Unlike sequential or scanning approaches, they require no relative movement between the measurement system and the object and do not rely on varying illumination conditions, such as different projection patterns or source points. This results in extremely high measurement speeds, opening up new possibilities for analyzing dynamic or transient processes. This is particularly beneficial in harsh production environments that are often affected by vibration, turbulence, or temperature gradients, as well as for capturing rapid spatio-temporal changes in objects or states.

This contribution gives an overview of the methodological approaches of various single-shot measurement techniques, discusses their respective advantages and limitations, and presents experimental implementations and results from our recent research at the Institute. Techniques discussed include hyperspectral and interferometric methods for topography and wavefront detection as well as computerized imaging techniques for relative distance measurement and lensless imaging.

10:00 **Kaffeepause**

Eröffnung: Ricarda Kafka  
Messtechnik  
R. Kafka

A

A1

10:30

**Auflösungssteigerung in der digitalen Holographie durch adaptive Speckle-Beleuchtung**

A. Schiebelbein\*, T. Schmitt-Manderbach\*, C. Glasenapp\*, S. Reichelt\*\*, G. Pedrini\*\*

\* Corporate Research &amp; Technology, Carl Zeiss AG,

\*\* Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart

antonius.schiebelbein@zeiss.com

Die konventionelle digitale Holographie mit ebenen Beleuchtungswellen ist durch die begrenzte Beleuchtungsapertur und den Pixelabstand des Bildsensors in ihrer lateralen Auflösung eingeschränkt. In diesem Beitrag zeigen wir, dass sich dieses Problem durch den Einsatz mehrerer unkorrelierter Speckle-Beleuchtungen lösen lässt.

Die Speckle-Beleuchtung wird mittels eines Glasdiffusors erzeugt. Die dabei entstehenden Speckle-Felder verschieben höhere Raumfrequenzen des Objekts in die objektseitige Apertur, wodurch die effektive numerische Apertur vergrößert und die räumliche Auflösung verbessert wird. Mithilfe von Referenzaufnahmen des Diffusors in Kombination mit einem Entfaltungsalgorithmus werden die Raumfrequenzen in ihre ursprünglichen Positionen zurückgeführt, wodurch die erhöhte Auflösung sichtbar wird.

Die erzielte Auflösungssteigerung ist dabei umgekehrt proportional zur durchschnittlichen Größe der Speckle-Intensitäten. Durch Anpassung der Beleuchtungsapertur lässt sich die Speckle-Größe gezielt variieren. Ziel dieses Beitrags ist es, den Zusammenhang zwischen der Speckle-Größe und der erzielten Auflösungssteigerung systematisch zu untersuchen.

A2

10:45

**Spektrale Speckle-Korrelation zur flächigen Bestimmung der Oberflächenrauheit**

P. Laux\*, A. Schiller\*, A. Bertz\*, D. Carl\*\*, S. Reichelt\*\*\*

\* Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Freiburg;

\*\* Institut für Nachhaltige Technische Systeme, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg;

\*\*\* Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart

patrick.laux@ipm.fraunhofer.de

Die Oberflächenrauheit ist ein entscheidendes Qualitätsmerkmal in der Blechbearbeitung. In diesem Vortrag wird die Methode der spektralen Speckle-Korrelation (SSC) vorgestellt, bei der das Speckle-Muster der Oberfläche bei unterschiedlichen Wellenlängen erfasst wird. Durch die Korrelation aufgenommener Speckle-Bilder wird die Oberflächenrauheit bestimmt: An Oberflächen mit größerer Rauheit zeigen diese eine geringere Korrelation. Dies führt zu schnellen, flächigen und kontaktfreien Messungen.

In diesem Beitrag wird erläutert, wie die Auswertefläche gewählt und störende Einflüsse der Oberfläche reduziert werden, um eine Rauheitsmessung mit möglichst hoher Ortsauflösung zu ermöglichen. Es wird gezeigt, dass der Rauheitsparameter  $S_q$  von Oberflächen im Bereich von  $0,81 \mu\text{m}$  bis  $2,07 \mu\text{m}$  mittels SSC mit weniger als 5 % Abweichung von Referenzwerten bestimmt werden kann. Die Ergebnisse zeigen das Potenzial der Methode für Oberflächenmessungen von Bereichen mit einem Durchmesser von 15 mm.

Speckles  
A. Stark

A

A3

11:00

**Fourier optics analysis of scattering from an optically rough surface**

D. Kelly

Institut für Lasertechnologien in der Medizin und Meßtechnik an der Universität Ulm  
damien.kelly@ilm-ulm.de

The reflection of coherent laser light from an optically rough surface produces a complicated distribution known as a speckle field. Speckle fields are of fundamental theoretical interest. And speckle fields are of significant practical importance in both mechanical and industrial engineering. It is quite common for example that surface roughness properties of materials are monitored during manufacturing processes. Accordingly detailed theoretical scattering models and industrial metrology techniques have been developed over the years. Nevertheless, Fourier optics based analytical models can still provide useful insights into understanding this engineering problem: Measuring surface profiles. Here we examine the Fourier plane distribution of an optical field that is scattered from a rough surface. We describe the rough surface using a Fourier series expansion and identify properties such as the spatial frequency content and modulation depth and how they relate to industry measurement standards such as root mean square deviation of the surface height using analytical and numerical techniques. We summarize our results and make several conclusions.

A4

11:15

**Speckle-basierter relativer 6DOF Sensor**

N. Borchers\* \*\*, U. Vogl\*\*, C. Glasenapp\*\*, T. Haist\*, S. Reichelt\*

\* Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart;

\*\* Carl Zeiss AG

niklas.borchers@zeiss.com

Viele verschiedene industrielle Fertigungsprozesse benötigen eine genaue Kenntnis der relativen Position zwischen Werkstück und Werkzeug in 6 Freiheitsgraden (Degrees of Freedom: DoF).

Die derzeit oft hierfür eingesetzten Methoden [KMG, Laser Tracer, Laser Tracker, (Aktive) Triangulation, Kamera + CAD] haben alle bestimmte Vor- und Nachteile. Insbesondere die hochgenaue Messung der Rotationen des Werkstücks kann eine Herausforderung darstellen.

Die genutzte speckle-basierte Messmethode wertet die relativen Verschiebungen des Specklemusters auf mehreren Kameras aus und berechnet anhand dieser die relative Posenänderung mit Genauigkeiten im einstelligen Mikrometer bzw. Mikrorad Bereich. Um Messungen in dieser Genauigkeitsklasse zu ermöglichen ist eine präzise Kontrolle und Stabilität der Laserwellenlänge sowie der Geometrie und der sie beeinflussenden thermischen Belastungen des Systems notwendig. Durch die Nutzung von Kalibrierbildern mit bekannten Positionen ist eine Erweiterung der Messung auf absolute Posen möglich. Der Sensoraufbau wird zusammen mit ersten Messergebnissen vorgestellt und ein Vergleich der speckle-basierten Methode zu den genannten Alternativen gezogen.

11:30 Mittagspause

Speckles  
A. Stark

B

B1

10:30

**Optisches Reservoir Computing zur Analyse turbulenter Konvektionsströme**

A. Bartelmei, J. Schumacher, S. Sinzinger

TU Ilmenau

anja.bartelmei@tu-ilmenau.de

Die Untersuchung turbulenter Konvektionsströme ist ein wichtiger Schritt für das Verständnis von Wärmetransport in dynamischen Systemen wie Wetter und Klima. Aufgrund der zugrundeliegenden komplexen nichtlinearen Prozesse sind die entstehenden zeitlich und räumlich chaotischen Strukturen schwer vorhersagbar. Maschinelles Lernen bietet hier vielversprechende Ansätze, die komplexen Dynamiken näher zu verstehen. Um zukünftige Strömungszustände effektiv vorhersagen zu können, ist eine Balance zwischen physikalischer Genauigkeit und rechnerischer Effizienz erforderlich. Ein Lösungsansatz ist das in dieser Arbeit vorgestellte optische Reservoir Computing. Dieses maschinelle Lernverfahren erlaubt einen vergleichsweise geringen Trainingsaufwand, da nur die Ausgabe des statt des gesamten neuronalen Netzes trainiert wird. Durch die optische Implementierung mit spatialen Lichtmodulator wird zudem eine direkte und parallele Datenverarbeitung ermöglicht. Wir präsentieren den grundlegenden optischen Aufbau des Reservoir Computing Systems und erste Ergebnisse mit strömungsmechanischen Daten. Die wichtigsten Einflussparameter auf die Systemfunktionalität werden diskutiert.

B2

10:45

**Optisches Reservoir Computing mit direkten optischen Eingabedaten**

M. Zier, K. Lüdge, L. Jaurigue, S. Sinzinger

Technische Universität Ilmenau

maximilian.zier@tu-ilmenau.de

Die Klassifizierung optischer Bild- und Videodaten z.B. mit künstlichen neuronalen Netzwerken gewinnt in Zeiten zunehmender Automatisierung immer mehr an Bedeutung. Anwendungsfelder sind u.a. Handschrifterkennung, Identifikation oder Videoüberwachung. Ein viel diskutierter Ansatz des maschinellen Lernens ist dabei das Reservoir Computing. Dieser eignet sich besonders für eine optische Implementierung, da sich der Trainingsvorgang auf die Ausgangsebene des Netzwerkes beschränkt. In Kombination mit optisch aufbereiteten Eingangsdaten werden so schnelle und effiziente Computingsysteme realisiert. In einem existierenden elektrooptischen Reservoir-Computing-System auf Basis eines spatialen Lichtmodulators, werden elektronische Komponenten sukzessive durch optische Implementierungen ersetzt. Ziel ist eine rein optische, direkte und parallele Datenverarbeitung, wobei der Einfluss der Reservoir-Architektur und der optischen Systemgestaltung auf die Klassifizierungsfähigkeit analysiert werden. In diesem Beitrag werden erste Ansätze und Ergebnisse auf dem Weg zu einer rein optischen Implementierung präsentiert.





B

B3

11:00

**Optisches Interface für Phase Retrieval**

T. Meinecke, K. Kraidenov, D. Rajput, S. Sinzinger

Fachgebiet Technische Optik, Technische Universität Ilmenau  
thomas.meinecke@tu-ilmenau.de

Phase Retrieval ist ein Verfahren zur Gewinnung der komplexwertigen Wellenfront eines kohärent beleuchteten Objekts aus einem Bildstapel defokussierter Intensitätsverteilungen. Ein iterativer Algorithmus berechnet aus diesen Aufnahmen eine volumetrische Wellenfeldverteilung, aus dem durch numerische Rückpropagation die Information der komplexwertigen Wellenfront ermittelt wird. Wegen des Einsatzes diskretisierender Komponenten (CCD Sensor als Abtastgitter, Rechentechnik) ist dieses Verfahren aufgrund des Abtasttheorems streng an die Parameter der Wellenlänge der Beleuchtung, der Pixelgröße der Kamera, der gewählten Entfernung der größten Defokussierung und des minimalen Strukturdetails sowie der Größe des beleuchteten Objekts gebunden und nur eingeschränkt anwendbar. Diesen Restriktionen kann durch das Einbringen eines optischen Interface begegnet werden. In diesem Beitrag stellen wir optische Konzepte, deren Funktionalität und ihre Realisierung vor. Wir präsentieren Messergebnisse und diskutieren Möglichkeiten der Bildmanipulation und -verbesserung.

B4

11:15

**KI-basiertes Modell für die Simulation großflächiger Meta-Oberflächen**

W. Spiller, J. Jahns

Mikro- und Nanophotonik, FernUniversität Hagen  
walspill@yahoo.de

Für großflächige Meta-Oberflächen, bestehend aus sehr vielen Meta-Atomen mit Nanometer-Abmessungen, stellt die genaue Berechnung des erzeugten optischen Feldes eine große Herausforderung dar. Um den Rechenaufwand zu minimieren, schlagen wir ein Verfahren vor, welches aus drei Komponenten besteht: erstens, auf der individuellen Berechnung der Einzelbeiträge (Huygens-Wellen), zweitens, einer modalen Zerlegung der individuellen Felder in sog. „Wirbelmoden“ und der analytischen Formulierung der anschließenden Lichtausbreitung, schließlich drittens, der Verwendung von Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI), hier speziell eines Neuronalen Netzes (NN). Dies erfolgt in zwei Schritten: erstens, der vorbereitenden Berechnung und dem Training des NN für ein normiertes numerisches Modell und, zweitens, der eigentlichen Berechnung mit benutzerspezifischen Daten. Das NN wird dabei speziell zur Abstraktion und Interpolation ausgenutzt. Bei ausreichendem Training ist der Rechenaufwand im zweiten Schritt, d.h. bei der eigentlichen Simulation, verschwindend klein und i.A. sogar in Realzeit möglich.

**11:30 Mittagspause**



**Simulation und Tolerierung optischer Systeme mit Freiformflächen**

H. Gross

Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

herbert.gross2@outlook.de

In den letzten Jahren werden in zunehmendem Maße Freiformflächen in optischen Systemen eingesetzt. Diese sind hinsichtlich Design, Fertigung, Meßtechnik und Montage herausfordernd und für eine erfolgreiche Entwicklung sind Simulationen wichtig und ein Schlüssel zum Erfolg. Da für Freiformflächen neuartige Fertigungsverfahren zum Einsatz kommen, weisen reale Flächen häufig nicht-klassische Formabweichungen auf. Eine wirklichkeitsnahe Simulation zur Bestimmung der Systemperformance wird von traditionellen Designprogrammen nur wenig unterstützt. Daher benötigt man für den Schritt von der realen Komponentenform zur integrierten Systemqualität und Tolerierung neue Modelle und Werkzeuge. Im vorliegenden Beitrag werden die typische Freiformflächenfehler mit statistischem Verhalten als auch regulären deterministischen Mustern betrachtet und ihre Simulation und Tolerierung innerhalb eines Systems beschrieben. Das Modell kann entweder Raytrace-basiert sein oder Beugungseffekte wiedergeben, die gerade bei regulären periodischen Mustern eine wichtige Rolle spielen. Es werden mögliche Toleranzansätze vorgestellt. Grenzen und Probleme werden aufgezeigt und kritisch diskutiert.

**13:00 Pause**



A

A5

13:15

**Geschichte & Entwicklung von asphärischen Linsen bei der Leica Camera AG**

P. Karbe

Leica Camera AG

peter.karbe@leica-camera.com

Ein Kernziel bei der Entwicklung neuer Objektive für die Leica Kameras war und ist die Leistungssteigerung in kompakter Bauform. Zur Steigerung der Abbildungsleistung und der Lichtstärke werden normalerweise mehr Linsenelemente eingesetzt. Da dies aber der kompakten Bauform entgegenwirkt, hat Leica schon früh mit der Implementierung von Asphären in die photographisch optischen Systeme begonnen. Hierdurch konnten zusätzliche Freiheitsgrade für die Optimierung der Systeme geschaffen werden, ohne die Anzahl der Linsen und damit die Baugröße zu erhöhen. Wir können heute auf mehr als sechs Jahrzehnte zurückschauen, in denen wir Asphären in Objektiven einsetzen. Anhand von Beispielen werden die Entwicklungsschritte und die damit einhergehenden bzw. notwendigen Verbesserungen der Fertigungs- und Meßtechnologien aufgezeigt.

A6

13:30

**Compact Telecentric Objectives: A systematic exploration of 'another' PNP triplet**

G. Raju

Hensoldt Optronics GmbH, Oberkochen

gokul.raju@hensoldt.net

Cooke Triplet and its variants with a PNP power distribution and symmetry about the central stop, is a well-studied photographic objective. This paper will systematically present another special triplet form with low numerical aperture and a telecentric image, used in applications such as epifluorescence microscopy, projection optics, and semiconductor inspection applications. When used with an externally accessible stop as typical in this application area, the basic form combines a Telephoto lens (PN) with a telecentricity enforcing field lens of positive power leading to PNP power distribution. The individual groups get more complex with demanding mechanical packaging specifications. Typical designs in the visible spectrum and their limiting aberrations are presented with a design evolution approach.



A

A7

13:45

## **ISO-kompatible Modellaugen für die Charakterisierung von Intraokularlinsen mit Weißlicht**

A. Ruprecht, C. Fuchs, B. Stauß, S. Krey

TRIOPTICS GmbH

aiko.ruprecht@trioptics.com

Die Neuauflage der ISO 11979-2:2024 stellt neue Anforderungen an die Charakterisierung von Intraokularlinsen, wie beispielsweise die Verwendung von Weißlicht in der Messung. Diesbezüglich muss das verwendete Modellauge auch eine chromatische Aberration aufweisen, die einem typischen menschlichen Auge entspricht. Die als geeignet referenzierten Modellaugen der Norm ANSI Z80.35-2018 enthalten als Modell-Kornea asphärische Linsen aus Kunststoff, die nachteilig für den Einsatz in Produktions-Prüfgeräten für die Intraokularlinsen-Produktion sind. Im Rahmen des Vortrags werden die erweiterten Optik-design-Anforderungen für Modell-Augen inklusive einer Methode zur Vergleichbarkeit verschiedener Designs diskutiert, sowie mögliche praxistaugliche Lösungen mit sphärischen Linsen aus robustem Glas beschrieben.

A8

14:00

## **New results on the temperature coefficient of the refractive index for various optical materials**

R. Jedamzik, J. Körner, U. Petzold, H. Kaufmann

SCHOTT AG

ralf.jedamzik@schott.com

The refractive index, a property of optical materials, fluctuates with changes in temperature. This means that any temperature variations in a lens, whether it's made from optical glass, infrared material, or even a filter, can cause changes in the refractive index. This, in turn, leads to distortions in the wavefront that are dependent on temperature in the application. However, these temperature-dependent variations in the refractive index can be offset by thermal expansion, which allows us to define what we call athermal glass behavior. A crucial element for designing athermal optics is a dependable database that contains the thermal coefficient of the refractive index for the optical materials. ISO has released two standards, ISO 6760-1 and 6760-2, which focus on measuring the temperature coefficient of the refractive index. For many years, reliable data on these temperature coefficients have been a key component of the data sheets for optical glass. More applications need broadband  $dn/dT$  evaluations up to 2325 nm. Current measurement capabilities are limited to 1060 nm wavelength. Questions arise if extrapolation of  $dn/dT$  data from 1060 nm to 2325 nm is a valid approach.





**Grenzen der Farbkorrektur mittels Kinoform-Profile**

N. Schuster

SUSTAR-OPTICS Heilbronn

dmorbertschuster@gmx.net

Den Optikdesigner erfreuen negative Abbe-Zahlen, wie sie ringförmige „blazed“-Beugungsstrukturen erzeugen können. Im LWIR ist diese Art der Farbkorrektur seit 2000 Standardtechnologie [1]. Lässt man die Streustrahlung durch die Störflanken außer Acht, besteht die erste Grenze in der rein dichromatischen Wirkung. Die zweite Grenze setzt die Beugungseffektivität: Sie beschreibt in erster Näherung, mit welcher Intensität sich die gebeugte Strahlung wellenlängenabhängig in die verschiedenen Beugungsordnungen verteilt. Ausgehend von der Designwellenlänge  $\lambda_K$  nimmt der Anteil der in die Designordnung gebeugte Strahlungsanteil kontinuierlich ab und erreicht den Wert Null in den Harmonischen von  $\lambda_K$ . Jede harmonische Wellenlänge wird komplett in ihre Nachbarordnung abgelenkt und generiert zusätzliche Bildebenen. Ordnungsübergreifend ist die Abbe-Zahl des Kinoform-Profiles gleich der der Trägerlinse. Die Konsequenzen für den Designprozess werden an Beispielen aus verschiedenen Spektralbereichen demonstriert.

[1] Schuster, N. in: Jahrbuch Optik und Feinmechanik No. 66 (2020), 41-65.

**14:30 Tagungsfoto****14:45 Kaffeepause**



B

B5

13:15

**Potentials and Challenges of Optics Manufacturing with Xolography**

M. Falkner\*, U. Wüllner\*, T. Biermann\* \*\*, P. Xia \*, S. Teves\* \*\*, Z. Dai\*, R. Lachmayer\* \*\*

\* Institute of Product Development, Leibniz University Hannover

\*\* Cluster of Excellence PhoenixD (Photonics, Optics and Engineering - Innovation Across Disciplines), Leibniz University Hannover

falkner@ipeg.uni-hannover.de

Xolography is a volumetric additive manufacturing technique that uses two distinct wavelengths of light to create three-dimensional structures with optical quality. Unlike conventional additive manufacturing, where parts are built layer by layer, Xolography forms components without a layer structure. This results in a surface roughness in the low two-digit nanometer range and isotropic material properties. Xolography holds significant potential for manufacturing complex optical components, such as free-form lenses, prisms, and diffractive elements. The volumetric nature of the process also allows for significantly reduced production times compared to traditional methods. However, as a relatively new technology, challenges remain in achieving shape fidelity, spectral transmission, and material diversity. This article explores the potential of Xolography for optics manufacturing, discusses its current challenges, and offers insights into future developments and solutions.

B6

13:30

**Integrated manufacturing of optical MEMS via direct laser writing**

A. Calikoglu, F. Lux, Ç. Ataman

Department of Microsystems Engineering, University of Freiburg  
caglar.ataman@imtek.uni-freiburg.de

Three-dimensional (3D) nano-printing via two-photon polymerization offers unparalleled design flexibility and precision, thereby enabling rapid prototyping of advanced micro-optical elements and systems that have found important applications in endomicroscopy and biomedical imaging. The potential of this versatile tool for monolithic manufacturing of dynamic micro-opto-electro-mechanical systems (MOEMS), however, has not yet been sufficiently explored. This approach offers unparalleled miniaturization, design flexibility, and alignment precision of micro-optics and actuators. However, the material systems available for the 3D nano-printing process are polymeric with less-than-ideal mechanical characteristics. In this paper, we discuss the monolithic manufacturing, characterization and testing of two novel functional optical microsystems, report on our investigation of the static and dynamic mechanical response of the relevant material systems to explain experimentally observed behavior.



B

B7

13:45

### **Zweiphotonenlithographie mit einer optischen Singlemode-Faser**

A. Toulouse\* \*\*, M. Wende\* \*\*, A. Hellstern\*\* \*\*\*, T. Kühn\*\*\*\*, C. Imiolczyk\*\* \*\*\*,  
P. Ruchka\*\* \*\*\*, K. Hirzel\*\*\*\*, A. Herkommer\* \*\*, H. Giessen\*\* \*\*\*, M. Heymann\*\*\*\*

\* Institut für Technische Optik (ITO), Universität Stuttgart;

\*\* Stuttgart Research Center of Photonic Engineering (SCoPE);

\*\*\* 4. Physikalisches Institut (PI4), Universität Stuttgart;

\*\*\*\* Institut für Biomaterialien und Biomolekulare Systeme (IBBS), Universität Stuttgart  
andrea.toulouse@ito.uni-stuttgart.de

Die Zweiphotonenlithografie ist eine etablierte optische 3D-Druck-Technologie, die typischerweise auf der Verwendung eines Mikroskops mit eingekoppeltem Femtosekundenlaser basiert. Für viele Anwendungen ist diese makroskopische Implementierung jedoch nicht praktikabel, da der 3D-Druck nicht in situ stattfinden kann, z.B. zur Geweberekonstruktion direkt im Körper.

In diesem Beitrag wird eine miniaturisierte, endoskopische Implementierung eines Zweiphotonen-3D-Druckers vorgestellt: Mit einem anomal dispersiven Pulskompressor werden die Pulse eines Femtosekundenlasers zeitlich um einen Faktor 40 verbreitert um die Dispersion in einer 2,5 m langen Singlemode-Faser vorzukompensieren. Die resultierenden Femtosekundenpulse an der Spitze der Faser werden mit einem 3D-gedruckten Immersions-Mikroobjektiv mit einer numerischen Apertur von 0,63 in einen flüssigen Fotolack fokussiert. In der Fokusregion werden Voxel mit einer Auflösung im einstelligen Mikrometerbereich erreicht. Neben endoskopisch gedruckten 3D-Strukturen aus kommerziellen achrylatbasierten Fotolacken werden erste Experimente zur Realisierung von Zellgerüsten aus hydrogelbasierten Biolacken vorgestellt.

B8

14:00

### **Parameterfindung für die Stempelherstellung von komplexen Geometrien mittels Nanoimprint Lithographie**

C. Karapatzakis, S. Burkert, C. Wittemann, A. Heinrich

Hochschule Aalen - Aalen School of Applied Photonics  
Christos.Karapatzakis@hs-aalen.de

UV-Nanoimprint-Lithographie ist ein Verfahren, das schnell und kostengünstig Mikro- und Nanostrukturen replizieren kann. Diese Studie konzentriert sich auf Masterstrukturen, welche mittels 2-Photonen-Polymerisation hergestellt wurden, sowie Stempelstrukturen mit Hinterschnitten. Kritische Parameter wie Geometrie und Materialeigenschaften wurden untersucht. Dies erfolgte in zwei Phasen: Zuerst wurden geeignete Strukturgeometrien und -höhen für eine erfolgreiche Replikation analysiert. Anschließend wurde die Replikationsqualität von T-Strukturen mit unterschiedlichen Kerb-Radii unter Verwendung verschiedener Stempelmaterien betrachtet. Zusätzlich wurde die Replikation und die dabei entstehende Spannungsverteilung und Verformung während des Lift-Off-Prozesses mittels Finite-Element-Analysis in COMSOL simuliert. Die Ergebnisse zeigen, dass elastische Stempelmaterien in einem großen Radiusbereich gut geeignet sind, um Spannungen zu minimieren und Schäden an Master und Stempel zu verhindern. Im Gegensatz dazu besitzen Strukturen aus steiferen Materialien bei großen Radii vergleichbar wenig Defekte, leiden jedoch bei kleinen Radii unter hohen Materialspannungen und weisen Risse auf.



**Entwicklung eines Multisensorsystems zur in-situ Charakterisierung von additiv gefertigten HyPo-Komponenten**

P. Shobowale, L. Hinz, M. Kästner

Institut für Mess- und Regelungstechnik, Leibniz Universität Hannover  
peter.shobowale@imr.uni-hannover.de

Der Sonderforschungsbereich / Transregio (SFB / TRR) 375 befasst sich mit der Herstellung multifunktionaler Hochleistungsbauteile aus hybriden porösen Werkstoffen (HyPo-Werkstoffen) mittels additiver Fertigungsverfahren, wie Laser-Directed Energy Deposition (L-DED) und Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM). Eine Herausforderung ist dabei die Entstehung von thermisch induzierten Defekten, Formabweichungen und Spannungsrissen, die auf den lokal inhomogenen Wärmeeintrag zurückzuführen sind. Ziel des Teilprojektes B03 des SFB / TRR 375 ist die Entwicklung einer Messstrategie zur schichtweisen Charakterisierung qualitätsbestimmender Prozessgrößen während der additiven Fertigung. In diesem Beitrag wird ein in der Entwicklung befindliches Multisensorsystem vorgestellt und diskutiert, welches Thermographie und Laserlinientriangulation kombiniert. Übergeordnetes Ziel ist es, durch die in-situ Erfassung von Temperatur und Geometrie ein multimodales Modell der aufgetragenen Materialschichten zu erhalten, um sowohl eine schnelle Erkennung von Anomalien als auch ausblickend eine Regelung des L-DED-Prozesses zu ermöglichen.

**14:30 Tagungsfoto****14:45 Kaffeepause**





A

A10  
15:15**Schön scharf: Scharfer Kino-Look durch scharfe Objektive**

E. Siebert\*, C. Horneber\*\*

\* Dr. Türck Ingenieurbüro GmBH

\*\* HOC Optik Dr. Christoph Horneber

elisabeth.siebert@tuerck-ing.de

Anamorphe Kameraobjektive prägen den charakteristischen Kino-Look durch ihre Eigenschaft, das Bild bei der Aufnahme horizontal zu komprimieren. Diese Technik wurde in den 1950er Jahren entwickelt und diente dazu, ein Breitbild auf Filmmaterial abzubilden. Auch in der heutigen digitalen Ära werden anamorphe Objektive häufig eingesetzt – bei Hollywood-Blockbustern genauso wie bei Low-Budget Produktionen.

Als Optikdesigner entwickeln wir diese speziellen Objektive und demonstrieren anhand konkreter Bildbeispiele die Bedeutung einer hohen Abbildungsleistung. Die verschiedenen Aberrationen erfordern dabei eine differenzierte Herangehensweise: Während Farbfehler minimiert werden müssen, können sphärische Aberrationen zu einem ausgewogenen Kontrast in der Fokusebene beitragen. Auch die Charakteristik der Verzeichnung spielt eine entscheidende Rolle für die Bildästhetik.

Eine Besonderheit anamorpher Objektive liegt in der fehlenden Rotationssymmetrie, wodurch sich die Abbildungsleistung in horizontaler und vertikaler Richtung unterscheidet. Diese Eigenschaft erfordert bei der Analyse der charakteristischen Aberrationen besondere Aufmerksamkeit und spezifische Optimierungsstrategien.

A11

15:30

**Schön unscharf: Weicher Kino-Look durch scharfe Objektive**

C. Horneber\*, E. Siebert\*\*

\* HOC Optik Dr. Christoph Horneber,

\*\* Dr. Türck Ingenieurbüro GmbH

horneber@hoc-optik.de

Der charakteristische Kino-Look anamorpher Kameraobjektive entsteht durch einen besonderen optischen Effekt: Objekte außerhalb der Fokusebene werden durch den Stauchungsfaktor 2 vertikal gestreckt. Für Filmschaffende ist dabei die Qualität der Unschärfe von entscheidender ästhetischer Bedeutung – eine Anforderung, die für Entwickler eine besondere Herausforderung darstellt, da sie sich nicht quantifizieren lässt.

Wir laden Sie ein zu einer faszinierenden Entdeckungsreise durch die Entwicklung anamorpher Kameraobjektive. Dabei beleuchten wir typische Fallstricke und erklären, warum Optikdesigner etwa die Hälfte ihrer Entwicklungszeit der Perfektionierung der Unschärfecharakteristik widmen.

Anhand konkreter Beispiele demonstrieren wir, wie sphärische Aberrationen die Bildästhetik beeinträchtigen können, welche Eigenschaften ein optimales Bokeh auszeichnen, was Zwiebelringe mit asphärischen Oberflächen zu tun haben und warum die Wahl der richtigen Antireflex-Beschichtung auf den Linsen über den Erfolg eines Objektivs entscheiden kann.



A

A12  
15:45**Depth Cue Recovery in Digital Optical Visualization Systems**

T.-H. Hage\* \*\*, E. Geissler\*, J. Haueisen\*\*

\* Carl Zeiss AG;

\*\* Biomedizinisches Institut für Technik und Informatik, Technische Universität Ilmenau  
till-hendrik.hage@zeiss.com

Analog-optical visualization systems are state of the art in microscopy, nature observation, or neurosurgery applications. However, these systems have limitations like reliance on oculars, light/thermal stress on tissues, and the reduced ability to add augmented (digital) information to the user's view. Driven by the generally prevailing digitization offensive, the visualization pipeline is also undergoing a digital transformation. This provides many advantages based on additional digital functionalities. However, digital-optical visualization systems still do not provide the same level of visual quality, especially for depth perception. In contrast to the inherent depth perception of the human visual system, which utilizes a variety of depth cues, digital visualization systems do not convey all of these cues effectively. In particular, motion parallax, accommodation, and convergence are often not correctly implemented, resulting in limited and unnatural visual quality. This talk will review the problems mentioned and present solution concepts to ensure natural depth perception with digital optical systems.

A13  
16:00**Comparison of Perceived Brightness and Colorfulness for Different Display Technologies**

S. Reichel\*, L. Eger\*, P. Ulmer\*, K. Blankenbach\*, D. Stoltzka\*\*

\* Hochschule Pforzheim, Tiefenbronner Str. 65, D-75175 Pforzheim, Germany

\*\* Samsung Semiconductor, 3655 North 1st St., San Jose, CA 95134, USA  
steffenreichel22@gmail.com

Modern displays are based on liquid crystals, organic emitters, quantum dots or micro-LEDs. These technologies have different color coordinates so that images are rendered differently. Especially in cars, different displays should be calibrated to the same colors, but often a manual correction is required. This is due to the Helmholtz-Kohlrausch (HK) effect which describes the perceived brightness depending on color: Higher saturated colors are perceived brighter. This also holds if the same color is shown with different gamut. We study the HK effect for 4 different display technologies and measured all in terms of luminance, gamma, color coordinates, and gamut for calibration. Calibrated images with the same color coordinates and luminance are compared by subjects using four identical PCs for driving the 2x2 displays to avoid any influence of the graphic adapter. We performed a user study with about 20 subjects where the subjects judge on different test patterns (e. g. white, RGBCMY, photos). The subjects rated all displays for each image e. g. from brightest to darkest. We present our results incl. an extension of CIELAB by HK correction. This helps to ease display calibration.



A

A14  
16:15**Optical Measurements and Evaluations of Switchable Privacy Displays**

K. Blankenbach, A. Alauddin, B. Civanlar, S. Reichel

Display Lab, Pforzheim University  
Karlheinz.blankenbach@hs-pforzheim.de

Switchable Privacy Displays (SPD) enhance a wide range of applications, including codriver displays (CDD) in cars. SPDs can be switched between public and private modes. In public mode, a SP display is readable at all angles, unlike in private mode, where typically only a narrow angular range perpendicular to the display is readable. An important application is the CDD: Distracting content such as video is blocked for the driver, but visible for the co-driver. We carried out many optical goniometric measurements of the characteristics of different SPD prototypes, such as luminance and color over viewing angle and uniformity. The latter was captured by a luminance imager and the horizontal line profiles were extracted to calculate the value of the Contrast Sensitivity Function (CSF) toward uniformity. An important parameter is the switching ratio SR, which describes the luminance ratio between driver and codriver. Evaluations with 20 subjects recommend a very low SR, resulting in a luminance of  $<0.1 \text{ cd/m}^2$  for the driver in private mode at night (the most critical case as there are no reflections of ambient light) to avoid distraction. Noticeable non-uniformity assessed for a CSF  $<5$ .

A15  
16:30**Wenn die Nacht zum Tag wird: Lichtverschmutzung – eine gesamtgesellschaftliche Herausforderung**

C. Sinn\*, H.-D. Reidenbach\*\*, L. Udovičić\*\*\*, A. Hänel\*\*\*\*, P. Longato\*\*\*\*\*

\* Köln.Optik Ingenieurbüro;

\*\* TH Köln, Emeritus;

\*\*\* Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (a.D.);

\*\*\*\* Vereinigung der Sternfreunde;

\*\*\*\*\* Deutsche Gesellschaft für Lichttechnik und Lichtgestaltung  
buero@koeln-optik.de

Die künstliche Beleuchtung unserer Städte und Infrastruktur (u.a. Flughäfen, Bahn und Industrieanlagen) hat sich zu einem bisher unterschätzten Gesundheits- und Umweltproblem entwickelt, das uns alle angeht.

Lichtverschmutzung bezeichnet die nicht beabsichtigte Aufhellung des öffentlichen Raums durch künstliche Lichtquellen. Sie wurde vom Fachverband für Strahlenschutz zur „Strahlung des Jahres 2024“ erklärt - zu Recht, denn die Auswirkungen sind weitreichender, als viele vermuten.

So viel künstliches Licht wie nötig und so wenig wie möglich ist die Herausforderung, dies muss die Leitlinie sein für eine ausgewogene und naturverträgliche Beleuchtung in der Nacht.

16:45 - 18:30 **Poster-Session**



B

B10

15:15

### **Spektrale Analyse von malignem und gesundem Gewebe basierend auf hyperspektralen Bilddaten**

A. Rüdinger\*, V. Bahlinger\*\*, A. Rohner\*\*\*, A. Staebler\*\*, T. Haist\*, S. Brucker\*\*\*, F. Fend\*\*, S. Reichelt\*

\* Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart

\*\* Institut für Pathologie und Neuropathologie, Universitätsklinikum Tübingen

\*\*\* Department für Frauengesundheit, Universitätsklinikum Tübingen

andrea.ruedinger@ito.uni-stuttgart.de

Brust- und Gebärmutterhalskrebs gehören zu den häufigsten Krebserkrankungen bei Frauen weltweit. Für eine vollständige Resektion der Tumore ist die Kenntnis über die Tumorränder essentiell. Um bei minimalinvasiven Eingriffen besser zwischen gesundem und malignem Gewebe differenzieren zu können, wird im Graduiertenkolleg 2543 „Intraoperative multisensorische Gewebedifferenzierung in der Onkologie“ unter anderem an neuartigen Sensorkonzepten geforscht, um so bei der Entfernung der Tumore zu unterstützen. Eines dieser Sensorkonzepte beschäftigt sich mit der spektralen Information der verschiedenen Gewebetypen. Dabei soll anhand von wenigen aber möglicherweise komplexen spektralen Signalen im sichtbaren bis nahinfraroten Spektralbereich (450 – 1450nm) verändertes Gewebe erkannt werden.

Hierzu wurde ein hyperspektraler Messaufbau entwickelt, anhand dessen mit hoher spektraler und räumlicher Auflösung die Spektren der verschiedenen Gewebearten an ex vivo Gewebeproben vermessen werden. Erste qualitative Analysen zeigen vielversprechende spektrale Unterschiede, wodurch eine Gewebeklassifikation ermöglicht wird.

B11

15:30

### **Entwicklung eines optischen Sensorsystems und einer Experimentalumgebung zur arteriellen Sauerstoffmessung in subkutanen Gewebeschichten**

D. Löwen, A. Marckwardt, M. Eichler, D. Oberschmidt

Fachgebiet für Mikro- und Feingeräte, Technische Universität Berlin

loewen@mfg.tu-berlin.de

Die zunehmende Prävalenz peripherer Durchblutungsstörungen erfordert nicht-invasive Messverfahren zur Bestimmung der arteriellen Sauerstoffsättigung in tieferen Gewebeschichten wie Subkutis und Muskelgewebe. Konventionelle Pulsoximeter erreichen nur die Dermis. Die Nahinfrarot-Spektroskopie ermöglicht zwar die Messung der Gewebeoxygenierung in größerer Tiefe, jedoch nicht die Bestimmung der arteriellen Sauerstoffsättigung. Um Pulssignale mit längeren optischen Pfaden messen zu können, wird ein Sensor-Modul mit hochintensiven LEDs und einem empfindlichen Photodetektorarray entwickelt. Zur Validierung wird ein mehrschichtiges PDMS-Gewebephantom hergestellt und charakterisiert, das die realen Absorptions- und Streuspektren im Gewebe annähert. Kanäle im Muskelgewebe werden pulsatil von einem Blutersatzmodell mit spezifischer Sauerstoffsättigung durchströmt. Durch Variation der Wellenlängen und Detektorabstände werden die Leistungsgrenzen des Systems charakterisiert. Erste Messungen am Menschen zeigen das Potenzial für klinische Anwendungen. Weiterführende Arbeiten untersuchen die Auswertung unterschiedlicher Oxygenierungsgrade und die Überlagerung oberflächlicher Gewebeschichten.





B

B12

15:45

## **Ödemdetektion durch Absorptionsspektroskopie zur Früherkennung von Präeklampsie**

S. Janzen, P. P. Pott

Institut für Medizingerätetechnik, Universität Stuttgart  
swantje.janzen@imt.uni-stuttgart.de

Präeklampsie ist eine schwerwiegende Schwangerschaftserkrankung und eine der Hauptursachen für mütterliche Mortalität weltweit. Sie ist häufig mit Wassereinlagerungen (Ödemen) im Gesicht und den oberen Extremitäten verbunden. Diese können mit herkömmlichen Methoden schwer quantifiziert werden. Mit Hilfe der Absorptionsspektroskopie sollen Wassereinlagerungen in den Fingern ermittelt werden. Durch die Messung der spezifischen Absorption von Licht im Nahinfrarotbereich werden Veränderungen im Wassergehalt des Gewebes erfasst, die mit der Entstehung von Ödemen korrelieren. Anhand von Silikonfingermodellen mit definierten, variablen Wasseranteilen wurden Spektren aufgenommen, um die Menge an Wasser zu erfassen. Beim paarweisen Vergleich dieser Fingermodellmessungen, konnte bei 19 von 28 Paarungen korrekt ermittelt werden, ob sich der Wasser- und/oder Silikongehalt unterscheiden. Aus diesem Grund ist die Absorptionsspektroskopie vielversprechend in Bezug auf die nicht-invasive, ortsunabhängige und selbstständige Überwachung von Wassereinlagerungen. Sie könnte die Frühdiagnose und das Monitoring von Präeklampsie erleichtern und zur Verbesserung der klinischen Versorgung beitragen.

B13

16:00

## **Intraoperative Perfusionsbildgebung mit hyperspektralen Lichtfeldkameras**

S. Kray\*, A. Schmid\*, E. Wisotzky\*\* \*\*\*, M. Gerlich\*, S. Apweiler\*\*\*\*, A. Hilsmann\*\*, T. Greiner\*, P. Eisert\*\* \*\*\*, W. Kneist\*\*\*\*

\* Institut für Smart Systems und Services, Hochschule Pforzheim;

\*\* Computer Vision & Graphics, Vision & Imaging Technologies, Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institute HHI, Berlin;

\*\*\* Visual Computing, Humboldt-University, Berlin;

\*\*\*\* Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Thoraxchirurgie, Klinikum Darmstadt  
stefan.kray@hs-pforzheim.de

Perfusion beschreibt die Durchblutung von Gewebe und ist ein entscheidender Faktor in der chirurgischen Beurteilung. Aktuell erfolgt die Bewertung der Perfusion durch subjektive visuelle Einschätzung, die als Grundlage für Gewebeschnitte dient. Hyperspektrale (HS)-Bildgebung bietet eine nicht-invasive und quantitative Alternative, jedoch fehlt bislang eine nahtlose Integration in den klinischen Workflow. HS-Bildgebung erfordert aktuell eine Unterbrechung des klinischen Ablaufs und erhöht die Operations- und Narkosezeiten. Diese Einschränkungen werden durch den Einsatz von hyperspektralen Lichtfeldkameras in Kombination mit schnellen Algorithmen aufgehoben. Wir demonstrieren klinische Anwendung mit Hilfe zweier HS-Kameras (Cubert Ultras S5 sowie Cubert Ultras X20, Cubert GmbH, Ulm). Unsere neue Korrelationsmethode ermöglicht die effiziente Auswertung großer Datenmengen für eine Live-Visualisierung während der Operation. Die mit unserem Verfahren erkannten Perfusionsgrenzen stimmen mit der klinischen Einschätzung überein. Wir diskutieren Kameracharakteristika, Systemparameter sowie die Eignung unseres Ansatzes für weitere klinische Anwendungen.



B

B14  
16:15**3D-printed micro optics applied for the Life Sciences**

M. Wende, K. Doth, F. Rothermel, A. Toulouse

Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart  
marco.wende@ito.uni-stuttgart.de

Multiphoton 3D-printing allows flexible manufacturing of high-quality micro optics. Combined with single-mode fibers or coherent fiber bundles, they enable construction of highly miniaturized endoscopic devices with diameters  $< 1$  mm.

We report on our recent applications of 3D-printed micro optics to advance instrumentation for the Life Sciences. Encapsulated micro optics enable fiber-endoscopic immersion multiphoton-lithography. Such encapsulated optics also increase mechanical robustness and versatility when applied in OCT-imaging of coronary arteries. We further demonstrate a confocal endo-microscope with a high numerical aperture ( $NA = 0.25$ ) at the tip of a coherent fiber bundle. To overcome the limited depth-of-field and allow sharp imaging of volumetric objects, we use a magnetic actuator that enables axial scanning of the image plane. The endo-microscope allows to resolve lateral structure sizes of  $\sim 7 \mu\text{m}$  (size of red blood cells), and can axially scan over a range of  $\sim 100 \mu\text{m}$ .

B15  
16:30**Nachweis und Identifizierung von Mikroplastikpartikeln mittels Raman-Spektroskopie im Durchfluss**

A. Kissel\*, A. Nogowski\*\*, A. Kienle\*, F. Foschum\*

\* Institut für Lasertechnologien in der Medizin und Meßtechnik an der Universität Ulm (ILM);

\*\* SKZ - KFE gGmbH, Europäisches Zentrum für Dispersionstechnologien (EZD)  
alexander.kissel@ilm-ulm.de

Der Nachweis von Mikroplastik im Wasser erfolgt derzeit meist durch Filtration der Probe und einer anschließenden statischen Detektion der Partikel auf dem Filter. Dabei kommen verschiedene Verfahren wie beispielsweise die FTIR-Spektroskopie, die stimulierte Raman-Spektroskopie (SRS) oder die oberflächenverstärkte Raman-Spektroskopie (SERS) zum Einsatz. Diese Vorgehensweise ist jedoch zeit-, arbeits- und kostenintensiv. Um eine Kontamination mit Fremdpartikeln zu vermeiden, ist eine Reinraumumgebung erforderlich. Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde ein Messprinzip entwickelt, das die Aufnahme von Raman-Spektren individueller Mikroplastikpartikel im Durchfluss ermöglicht. Anhand der aufgenommenen Spektren können die Mikroplastikpartikel detektiert und charakterisiert werden. Die Detektionsgrenze lag bei ca.  $4 \mu\text{m}$  großen Kunststoff-Forschungspartikeln. Durch die Detektion der Partikel direkt im zu untersuchenden Medium kann die aufwändige Probenaufbereitung umgangen werden, kontinuierliche Messungen sind möglich. Aufgrund der hohen Sensitivität sehen wir für das entwickelte Messprinzip zudem auch weitere Anwendungsfelder in der Partikel- und Zellanalytik.

16:45 - 18:30 **Poster-Session**



A

H3  
08:30

### **Image scanning microscopy** C. J. R. Sheppard

School of Optometry and Image science, UNSW Sydney, NSW 2052, Australia  
colinjrsheppard@gmail.com

Confocal imaging is established as a useful technique in numerous application areas, including microscopy, surface profiling, and three-dimensional (3D) imaging. Its advantages include improved spatial resolution, and an optical sectioning property giving depth information, as well as allowing penetration into scattering media such as biological tissue. For materials or industrial applications, the back-scattered light is measured by a single element detector via a small pinhole. In biomedical applications, a fluorescence mode is usually used. However, in a fluorescence mode the signal is usually weak, so the pinhole must be enlarged, thus losing the resolution advantage. Now there are several commercial microscope systems that retain the resolution improvement while increasing the detected signal, by replacing the single element detector with a detector array, followed by computer processing of the measured signals. The basic principle of image scanning microscopy system is pixel reassignment, where the signal is reassigned to its correct origin. It seems likely that this approach will replace the original implementation using a single confocal pinhole.

H4  
09:00

### **From differentiable modelling to system optimization: The full journey using Geometric Algebra exemplarily applied to improve light sectioning systems** S. Hartel, C. Faber

Hochschule Landshut – University of Applied Sciences  
simon.hartel@haw-landshut.de

Computer-aided optimization of optical metrology or imaging systems enables faster, more efficient, and often more innovative designs than those created by experts alone. While mastering this may seem challenging, especially for complex systems, the right choice of toolkits makes it far more approachable. This contribution shows how the system behavior can be elegantly modelled using Geometric Algebra, in particular to facilitate the differentiation process for gradient-based optimization. A major challenge is the incorporation of binary constraints (bounds, masks, coverage), which are often crucial for system design, yet implicate non-usable ("flat") gradients due to their piecewise constant nature. It is shown how these criteria can also be modelled in a differentiable way, and how targeted system modelling allows for simple quality criteria that could hardly be implemented otherwise – exemplarily illustrated by introducing an unconventional ray tracing approach for (specimen) coverage optimization. The proposed methodology is demonstrated for optimizing light sectioning systems but is equally applicable to other optical metrology and imaging systems.

09:30 **Pause**

C. Faber

D  
O  
N  
N  
E  
R  
S  
T  
A  
G

R. Brüning

**Methods for the accurate modeling of birefringent optical elements and thin films using multi-sequential raytracing and beamlet propagation methods**

G. B. Baer, J. Siepmann

Quadoa Optical Systems GmbH  
g.baer@quadoa.com

Sequential raytracing through birefringent materials presents some challenges. Depending on the orientation of the crystal axis and the polarization of the electro-magnetic field, the ray needs to be split into an ordinary and an extraordinary part. Since each ray may take a different path it is not always possible to recombine the polarization states into a single ray. We will present a method based on multi-sequential ray tracing that allows to compute the combined polarization state while not ignoring the OPD introduced by the different ray paths. Besides raytracing the method can be extended to wave optical propagation.

**Development of integrated software for STOP analysis**

B. Michel\*, V. Schultheiss\*, A. Egel\*, H. Greiner\*, P. De Vincenzo\*\*, P. Saint-Georges\*\*, S. Paquay\*\*

\* Hembach Photonik, Schwabach;  
 \*\* Open Engineering, Liège (Belgium)  
 bm@hembach-photonik.de

A STOP analysis refers to a multidisciplinary investigation of optical systems comprising thorough Structural (mechanical), Thermal and Optical Performance evaluations. It is an indispensable step in the development of optical instruments operating under variable and often harsh environmental conditions as encountered in aerospace, defense, and high-power laser applications.

STOP analysis requires coupling several physics domains, such as structural mechanics, heat transfer, and ray optics, as well as accounting for the system's material properties and boundary conditions. A key challenge lies thus in the seamless bi-directional data exchange between optical and FEM-based multiphysics software tools, because both domains influence each other in a non-linear way.

Two innovative European SMEs, Open Engineering (Belgium) and Hembach Photonik (Germany), supported by the European Space Agency ESA, are developing an integrated European software tool for STOP analysis, which builds upon their existing software tools OOFELIE::Multiphysics and RayJack ONE.

This lecture addresses the project's challenges, showcases application examples, and outlines the development roadmap.





**Vorteile der Chirp-Z-Transformation gegenüber der FFT am Beispiel der Berechnung von Streulicht in optischen Systemen**

U. Lippmann

Carl Zeiss Jena AG  
uwe.lippmann@zeiss.com

Die Fourier-Transformation gehört zu den wichtigsten mathematischen Operationen in der Optik. In der Praxis ist dabei besonders die numerische Umsetzung in Form der Fast-Fourier-Transformation (FFT) beliebt. Die Effizienz der FFT wird allerdings unter anderem damit erkauft, dass das Ergebnisraster direkt an Auflösung und Ausdehnung des Eingangsrasters gekoppelt ist. Dies ist besonders dann von Nachteil, wenn mehrere FFT-Ergebnisse aus Eingangsdaten mit jeweils verschiedenen Rastern mit einander verrechnet werden sollen.

Durch die Verwendung der Chirp-Z-Transformation (CZT) anstelle der FFT lässt sich sowohl die Größe als auch die Auflösung des Ergebnisrasters frei wählen. Die Ergebnisse der Fourier-Transformationen unterschiedlicher Eingangsdaten können so direkt in miteinander kompatiblen Rastern ausgegeben und ohne weitere Interpolation miteinander verrechnet werden.

Der Vortrag stellt die Chirp-Z-Transformation als Alternative zur Fast-Fourier-Transformation vor. Am Beispiel der Berechnung von Streulichtverteilungen aus Rauheitsmessungen der optischen Oberflächen werden die Vor- und Nachteile im Vergleich zur klassischen FFT gezeigt.

**Raycasting-basierte Merkmalszuordnung zur Registrierung bildhafter Daten auf komplexen Freiformgeometrien**

A. Kaune, L. Hinz, E. Reithmeier

Leibniz Universität Hannover  
adrian.kaune@imr.uni-hannover.de

Um Wartungsprozesse komplexer Flugzeugkomponenten zu automatisieren, ist eine Quantifizierung des Verschleißzustandes notwendig. Während 3D-Rekonstruktionen für die automatisierte Auswertung von großflächigen Daten weniger geeignet sind, da Schäden in unstrukturierten 3D-Daten nicht zuverlässig erkannt werden können, bieten 2D-Bilddaten keine metrische Quantifizierbarkeit.

Um diese Lücke zu schließen, werden Bilddaten im Rahmen eines holistischen Datenmodells über ein virtuelles Referenzmodell mit der dreidimensionalen Domäne verknüpft, um metrische Informationen zu extrahieren. Eine Feinausrichtung ist notwendig, um Unsicherheiten in der Objektpositionierung und der optischen Modellierung zu adressieren. Ein iterativer Ansatz wird vorgestellt, um die Anzahl und Zuverlässigkeit stereoskopischer Punktkorrespondenzen zu erhöhen. Nach der anfänglichen Ausrichtung verkleinert ein Prädiktorschritt den Suchraum mittels der Referenzgeometrie und Raycasting. Besonders bei komplexen Freiformgeometrien kann eine angepasste Korrespondenzvorhersage die Anzahl und Zuverlässigkeit der übereinstimmenden Merkmale erhöhen und die Genauigkeit der Registrierung verbessern.



B

B16  
09:45

### **Hochauflösende indirekte optische Geometriemessung unter der Beugungsgrenze?** C. Niehaves, S. A. Chamandani, A. Tausendfreund, A. Fischer

Bremer Institut für Messtechnik, Automatisierung und Qualitätswissenschaft, Universität Bremen  
c.niehaves@bimaq.de

Die indirekte optische Geometriemessung mittels konfokaler Fluoreszenzmikroskopie stellt einen Paradigmenwechsel bei der Formmessung von Mikrogeometrien dar. Im Gegensatz zu klassischen optischen Messverfahren, wird nicht die Objektoberfläche, sondern indirekt deren Abdruck in einer mit fluoreszierenden Partikeln angereicherten Atmosphäre detektiert. Dies ermöglicht Formmessungen prinzipiell unabhängig von den optischen Objekteigenschaften, insbesondere auch bei stark absorbierenden Objekten oder geneigten Oberflächen, die bisher nicht messbar waren.

Der indirekte Geometriemessansatz basiert auf einer modellbasierten Signalauswertung des Abfalls der Fluoreszenzintensität bei einem Axialscan, wobei eine axiale Messunsicherheit im einstelligen Mikrometerbereich erreicht wird. Um zu klären, inwieweit eine Steigerung des lateralen und axialen Auflösungsvermögens unterhalb der Beugungsgrenze erreichbar ist, wurde erstmals - für verschiedene optische Materialien - der Einfluss von verschiedenen Formgradienten im konfokalen Abtastvolumen numerisch simuliert. Darauf aufbauend wird eine Erweiterung des Fluoreszenzsignalmodells diskutiert und erste experimentelle Ergebnisse vorgestellt.

B17  
10:00

### **Vignettierung als physikalisches Messprinzip zur Charakterisierung von Asphären** E. Hofbauer, R. Kometer

HOFBAUER OPTIK Mess- & Prüftechnik  
e.hofbauer@hofbauer-optik.de

Bei der klassischen Optik wie in der Fotografie, industriellen Bildverarbeitung und Messtechnik mit Autokollimatoren spielt die Vignettierung eine entscheidende und leider problematische Rolle. Die Messung an asphärischen Bauteilen ist ebenfalls problematisch, da jahrhundertalte Methoden der Messung an Sphären den Wirkprinzipien der Asphäre entgegenstehen. Das physikalische Messprinzip des ‚Vignettierenden Feldblenden-Systems‘ VFS löst das Problem der Vignettierung auf einfache Weise, indem es das vignettierte Gesichtsfeld auswertet. Wir zeigen im Vortrag das Messprinzip des VFS und als Anwendung die Charakterisierung von asphärischen Oberflächen wie z.B. die Güte der „Geradheit“ der Asphärenachse mit Darstellung der Lage der Regressionsachse im Raum. Neben der Ermittlung des äußeren Zentrierfehlers wird auch der sogenannte ‚innere Zentrierfehler‘ ausgewertet. Dies auch an Doppelasphären mit und ohne dass die Linse während der Messung umgedreht werden muss. Außerdem zeigen wir, wie mit Hilfe der Integration der direkt gemessenen Werte des sagittalen slope errors die Auswertung des ‚Mid Spatial Frequency Errors‘ MSFE der Oberfläche der Asphäre ermittelt und dargestellt wird.

D  
O  
N  
N  
E  
R  
S  
T  
A  
G



**Erstmalige Simulation eines neuartigen berührungslosen optischen Wellenfront-Messverfahrens mit hoher lateraler Auflösung**

M. Wagner

THD - Technische Hochschule Deggendorf, IPH - Institut für Präzisionsbearbeitung und Hochfrequenztechnik

michael.wagner@th-deg.de

In diesem Beitrag wird von der erstmaligen Simulation eines neuartigen berührungslosen optischen Messverfahrens berichtet. Ähnlich wie ein Shack-Hartmann Sensor (SHS) misst es die Krümmung einer Wellenfront, im Gegensatz zu diesem jedoch ohne Mikrolinsenarray. Ohne die Einschränkungen des Mikrolinsenarrays kann mit jedem Pixel des Bildsensors eine Steigungsinformation gewonnen werden. Das Verfahren soll perspektivisch bei der Prüfung von asphärischen Optiken eingesetzt werden, um Oberflächenformabweichungen mit hohen Raumfrequenzen zu detektieren und um Steigungsfehler direkt zu bestimmen.

In der Zemax-Simulation wird ein Prüfling mit kollimierten Licht beleuchtet. Das am Prüfling reflektierte Licht erzeugt mit einem 4f-Aufbau ein Abbild des Prüflings auf dem Sensor. In der Fourier-Ebene wird eine Blende in einem Rasterverfahren und sequentiell in allen Rasterstellungen ein Bild aufgezeichnet. Mittels eines Python-Skripts wird aus den aufgezeichneten Bestrahlungsstärken in allen Raumfilter-Stellungen zu jedem Pixel die lokale Neigung der Wellenfront errechnet. Mit diesen Informationen kann auf die Form des Prüflings geschlossen werden.

**Portable Messeinrichtung für historische, achromatische Objektive**

C. Pruß\*, C. Schober\*, M. Korey\*\*, M. Bolt\*\*\*

\* Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart;

\*\* Mathematisch-Physikalischer Salon der Staatlichen Kunstsammlungen Dresden;

\*\*\* Bibliotheca Hertziana MPI für Kunstgeschichte, Rom, Italien

pruss@ito.uni-stuttgart.de

Teleskope spielen seit ihrer Erfindung eine herausragende Rolle für die Navigation, die Fernerkundung und die Wissenschaft. 1758 wurde John Dollond ein Patent auf achromatisch korrigierte Objektive erteilt, doch wie er diese entworfen und hergestellt hat, bleibt nach mehr als 250 Jahren immer noch ein Rätsel. Zur historischen Untersuchung der Entwicklung des Designs und der Herstellung farbkorrigierter Teleskopobjektive fehlen weitgehend die Linsendaten historischer Instrumente. In dieser Arbeit wird ein portables System zur Untersuchung der inneren Flächen historischer Doublet-Objektive vorgestellt. Die Untersuchungsmethode basiert auf der Vermessung von Autokollimationspunkten, die einen Rückschluss auf Flächenradialen und Brechungsindizes ermöglichen. Es werden Messunsicherheiten und erste Messungen an einem historischen Achromaten diskutiert.



**Optimizing Spatial Light Modulators: Full Characterization of Liquid Crystal on Silicon Devices**

M. Liebmann, J. Valverde-Sánchez, P. Engel

Holoeye Photonics AG  
max.liebmann@holoeye.com

With increasing demand for greater degrees of freedom in optics, spatial light modulators (SLM) are ever more vital in sophisticated light shaping applications. The ability to control phase, amplitude, or even polarization in the spatial domain is unique to liquid crystal on silicon (LCOS) devices. Understanding their characteristics and behavior in different use cases is crucial for optimal performance. In this work, we are going to talk about the inherent aberrations like backplane curvature and liquid crystal layer thickness variation, as well as impactful external parameters like light source properties and temperature. We will showcase the Twyman-Green interferometer as a very potent, spatially resolved, phase measurement tool. As a conclusion, we will discuss the implications for phase correction via a multi-level model.

**Flexibles optisches Modul mit zwei kaskadierten Phasenmodulatoren (LCoS-SLM) für die Hochleistungs-Ultrakurzpuls-Lasermaterialbearbeitung**

M. Hesker\*, P. Buske\*, A. Bonhoff\*, C. Holly\* \*\*

\* Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme, RWTH Aachen

\*\* Fraunhofer-Institut für Lasertechnik  
mario.hesker@tos.rwth-aachen.de

Durch die Verfügbarkeit von Phasenmodulatoren, die für Laserleistungen von über 700 W geeignet sind, kann die verfügbare Leistung moderner Ultrakurzpuls-Laserstrahlquellen effizient genutzt werden. Die erforderliche Agilität wird über dynamische Strahlformung mittels LCoS-SLM erzielt. Eine Kaskadierung von zwei LCoS-SLM ermöglicht dabei die Erzeugung nahezu beliebig komplexer und gleichzeitig robuster Strahlprofile. In Kombination mit einer simultanen Strahlteilung ist zudem eine anwendungsspezifische Multistrahlbearbeitung realisierbar.

Allerdings gibt es derzeit noch keine standardisierte Integrationsmöglichkeit der kaskadierten Phasenmodulatoren in ein flexibel einsetzbares optomechanisches System, sodass jedes Anwendungsszenario grundsätzlich eine Neuauslegung des optomechanischen Systems erfordert.

Daher wird in dieser Arbeit ein kompaktes optomechanisches System mit zwei LCoS-SLMs vorgestellt, das sich für die Integration in verschiedenen Maschinenarchitekturen eignet und für unterschiedlichste Ablations- und Umschmelzprozesse einsetzbar ist. Durch die Kompatibilität mit unterschiedlichen Scan-Systemen kann hierbei eine verzeichnungsarme Bearbeitung realisiert werden.





A

A22

11:45

### **Refractive adaptive optics microscopy with an optofluidic phase modulator**

Ç. Ataman

Department of Microsystems Engineering, University of Freiburg  
caglar.ataman@imtek.uni-freiburg.de

The past decade has seen the emergence of several novel refractive wavefront modulator technologies based on either piezoelectric or electrostatic actuators, which are functionally equivalent to deformable mirrors but work in transmission. Therefore, they can be potentially integrated into advanced imaging instruments without relay optics, and/or with significantly alleviated alignment and stability issues. This opens new avenues for wider deployment of AO in life-science microscopy. The Deformable Phase Plate (DPP) developed in our group is one such technology, distinguished by its exceptionally compact dimensions, capability of high-order correction, and scalability, which render it particularly useful for upgrading existing instruments with AO capability. Recently, we have integrated the DPP into both commercial and research-grade microscopes, employing various sensorless wavefront estimation techniques to minimise hardware modifications. This paper summarises the experimental results and provides a critical evaluation of the feasibility and limitations of plug-and-play AO upgrades from an end-user perspective.

A23

12:00

### **Experimentelle Demonstration der Specklereduktion in Fernfeldhologrammen von SLMs durch hochgenaue Camera-in-the-loop Kalibrierung**

M. Zimmermann, A. Brenner, T. Haist, S. Reichelt

Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart  
zimmermann@ito.uni-stuttgart.de

Phasenschiebende räumliche Lichtmodulatoren (engl.: Spatial-Light-Modulators, SLMs) bieten die Möglichkeit, das einfallende Licht durch gezielte Phasenverzögerung zu beeinflussen. Dadurch sind sie in einer Vielzahl von Anwendungen von holografischen Displays bis zur Lasermaterialbearbeitung einsetzbar.

Für die holografische Realisierung von Intensitätsverteilungen, z.B. für die Projektion, stellen Speckles ein erhebliches Problem dar, da die Bildqualität deutlich vermindert wird. Es existieren verschiedene Methoden der Phasenglättung, um Speckle zu reduzieren bzw. vollständig zu entfernen. Die Funktionsweise wird in den meisten Fällen jedoch nur simulativ demonstriert. Durch die hochgenaue Kalibrierung des Gesamtsystems werden im Beitrag die Unterdrückung von Speckles an einem optischen Aufbau demonstriert und die nötigen Voraussetzungen für die Speckleentfernung und die damit verbundenden Einschränkungen diskutiert. Basis für die Kalibrierung ist eine sogenannte Camera-in-the-loop Optimierung.

**12:15 Mittagspause**

**13:15 DGaO-Nachwuchspreis**

**14:30 Networking Event:** Genussvolle Entdeckungstour: Stuttgart & Weinregion

**18:00 Networking Ausklang:** Brauhaus Restaurant Trollinger - Feuersee



**Podiumsdiskussion: Karriereperspektiven in der Optik und Photonik**

U. Boehm

Carl Zeiss AG

ulrike.boehm@zeiss.com

Die Podiumsdiskussion „Karriereperspektiven in der Optik und Photonik“ bringt Fachleute aus der Wirtschaft und der Wissenschaft zusammen, um ihre persönlichen Erfahrungen zu teilen. Im Fokus der Diskussion stehen die Herausforderungen und Chancen, die sich für Experten in diesem Bereich ergeben, insbesondere hinsichtlich des beruflichen Einstiegs, der beruflichen Weiterentwicklung und des Aufstiegs auf der Karriereleiter. Zudem wird die Bedeutung von Netzwerken für den Erfolg in der Optik und Photonik eingehend betrachtet. Es wird genügend Zeit für Fragen geben, sodass die Teilnehmer aktiv in den Austausch einbezogen werden. Insgesamt wird diese Podiumsdiskussion eine wertvolle Informationsquelle für alle darstellen, die eine Karriere in der Optik und Photonik anstreben oder sich in diesem Bereich weiterentwickeln möchten.

**12:15 Mittagspause****13:15 DGaO-Nachwuchspreis****14:30 Networking Event:** Genussvolle Entdeckungstour: Stuttgart & Weinregion**18:00 Networking Ausklang:** Brauhaus Restaurant Trollinger - Feuersee



**Interferometrie oder Holografie? - Unterschiede und Gemeinsamkeiten interferometrischer Methoden unter Berücksichtigung des Messobjekts und Detektors**

F. Dötzer, M. Mannagottera, S. Sinzinger

Fachgebiet Technische Optik, Technische Universität Ilmenau

florian.doetzer@tu-ilmenau.de

Bildgebende interferometrische Methoden können grob in optisch abbildende und holografische Systeme mit numerischer Bildrekonstruktion gegliedert werden. Beide sind sowohl inline als auch off-axis implementierbar und leisten in der Theorie das gleiche. In der Praxis ergeben sich jedoch Unterschiede in der Effizienz, mit der die Bildfläche, Auflösung und der Dynamikbereich des Detektors ausgenutzt werden können. Konkret erweist sich eine Optimierung bei der zeitmittelnden interferometrischen Schwingungsmessung als wichtig. Bei Auslenkungen im Pikometerbereich trägt nur ein verschwindend kleiner Teil der Energie im Objektarm zum Interferenzsignal bei. Der geringe Interferenzkontrast führt zu ungewöhnlich hohen Messunsicherheiten. Um diese zu minimieren, müssen insbesondere die Eigenschaften des zu untersuchenden Messobjekts wie die Oberflächenrauigkeit, Topologie und Homogenität der Reflektivität berücksichtigt werden. Ein zusätzlicher Freiheitsgrad besteht in der Gestalt der Beleuchtungs- und Referenzwellenfronten. Im Beitrag wird anhand von Praxisbeispielen und theoretischen Betrachtungen aufgezeigt, wie für eine gegebene Messaufgabe eine passende Konfiguration bestimmt werden kann.

09:30 Pause



**Absolute Testing for a EURAMET Comparison on a PTB Optical Flat at an Aperture of 300 mm**

S. Han\* \*\*\*\*, G. Ehret\*\*, Y. H. Kang\*\*\*, D. W. Zhang\*, S. L. Zhuang\*

\* University of Shanghai for Science and Technology, China;

\*\* Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Germany;

\*\*\* National Institute for Metrology, China;

\*\*\*\* Suzhou H&amp;L Instruments LLC., China

senhanemail@126.com

The measurement and calibration of high-quality flats have been playing an important role for optical systems in optics and precision engineering. Hence, many National Metrology Institutes offer corresponding calibrations services. It is well known, laser interferometry technique is a very effective method to evaluate high-quality surfaces. Typically, transmission flat has  $PV \lambda/20$ . However, when a flat surface under test is better or much better than the transmission flat, we do need the absolute calibration technique.

In this talk, we will talk about absolute testing for a EURAMET comparison on a PTB optical flat at an aperture of 300 mm, and dedicate theoretical analysis, computer simulations, and experimental validation.

**Evaluation of the scalable interferometer „Mickey 350“**

A. Bielke, V. Burgarth

ASML Berlin GmbH

Alexander.Bielke@asml.com

At DGaO 2023, we presented the idea and realization of a scalable Fizeau interferometer. Our goal was a single optical design for different apertures at low cost, resulting in a system based on a plano-convex collimating lens. The core of the interferometer, consisting of the illumination and imaging optics, can be used for a large diameter range from 250mm to 600mm. For the production of ASML lithography systems, we are constantly confronted with new flat measurement objects of different sizes. The use case of our design is not to change the aperture of an existing setup, but to create a new setup with the best diameter that can be easily realized.

In the meantime, we have completed the alignment and calibration of the laboratory set-up „Mickey“ (the \*key\* to our \*m\*odular \*i\*nterferometer \*c\*oncept) with an aperture of 350mm. We would like to show the results and compare our most important optimization parameters - image quality, distortion and field curvature - with the simulation. This results in some lessons that we would like to pass on for self-built interferometers with high quality requirements.

We also give a brief outlook on planned research topics for Mickey 350.





**Multiple Aperture Shear Interferometry (MArS) and the influence of spatial light modulator and light sources on measurement errors**

G. Ehret\*, N. Mitura\*, A. F. Müller\*\*, R. B. Bergmann\*\* \*\*\*, C. Falldorf\*\*

\* Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig

\*\* Bremer Institut für angewandte Strahltechnik (BIAS), Bremen

\*\*\* University of Bremen, Faculty of Physics and Electrical Engineering, MAPEX-Center for Materials and Processes

gerd.ehret@ptb.de

Within the framework of the joint DFG project „Optical surface metrology with spatially and temporally partially coherent light wave fields“ (OPaL, project No. 460789164) of BIAS and PTB an optical form measurement system based on Multiple Aperture Shear Interferometry (MArS) is developed. In a MArS measurement, a spatial light modulator (SLM) is used to shear the wavefront in order to determine the wavefield. Various error input quantities are currently being investigated to calculate the uncertainty of the form measurement. In particular, the following two error influences must be taken into account: 1) The MArS setup uses LEDs as light sources which have variances in the light wavelength of several nanometers. 2) The SLM itself is not homogeneous and has variations in phase response. These influences lead to measurement errors, which will be discussed qualitatively and quantitatively in our contribution. In addition, we present the current setup of the MArS system, including a new flexible multi-light source.

**Untersuchung der Referenzpunkt-abgestützten Prüflingsjustage am Tilted-Wave Interferometer**

G. Scholz, I. Fortmeier

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
gregor.scholz@ptb.de

Das Tilted-Wave Interferometer (TWI) bietet einen vielversprechenden Ansatz zur nulltest-freien Formmessung von Asphären und Freiformen. Der Ansatz basiert auf Kombination von interferometrischen Messungen mit vielen zueinander verkippten Wellenfronten und modellbasierter Auswertung. Allerdings ist die Zuordnung zwischen Prüflingsform und den gemessenen relativen optischen Weglängen nicht eindeutig, sondern hängt auch von der Prüflingsposition ab. Ein Ansatz zur Verbesserung der Genauigkeit der Formmessung ist daher, Abweichungen zwischen der Prüflingsposition im Experiment und im Modell zu verringern. Hierfür wird eine Justagestrategie vorgestellt, die von einer Referenzposition aus mittels externer Abstandsmessung den Prüfling in die Messposition einjustiert. Für eine genaue Messposition wird sowohl die Wiederholbarkeit der Referenzposition als auch der Transfer in die Messposition untersucht. Hierfür werden sowohl Simulationen als auch Wiederholungsmessungen mit bekannten Artefakten durchgeführt. Die Ergebnisse tragen zum besseren Verständnis der prüflingspositionsabhängigen Messunsicherheitsbeiträge im TWI bei und führen so zu verlässlicheren und genaueren Messergebnissen.



**Homogenisierung partiell kohärenter Strahlung**  
H. Gross

Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF  
herbert.gross2@outlook.de

Viele Anwendungen erfordern eine Lichtverteilung mit gleichmäßiger Energiedichte der Beleuchtung. Da viele Lichtquellen dies nicht a priori bieten, muß man spezielle Optiksyste-  
me zur Homogenisierung verwenden. Zwei der bekanntesten Systemtypen sind der Wabenkondensor und der Lichtmischstab. Beide Lösungen erzielen im geometrischen Modell eine nahezu perfekt gleichmäßige Ausleuchtung. Nun senden aber viele Lichtquellen räumlich partiell kohärentes Licht aus. Wenn diese Eigenschaften berücksichtigt werden, ist die Modellierung eines Homogenisierers weit aufwendiger und die Ergebnisse sind auch weniger gut. Da beide Systeme mit Segmentierung im Orts- bzw. Winkelraum arbeiten, sind entsprechende Simulationen sehr rechenintensiv. Hier wird auf Basis der Kohärenz- und der Wignerfunktion gezeigt, wie sich die Prinzipien und Parameter der Homogenisierer im partiell kohärenten Fall auswirken, was Vor- und Nachteile sind. Es zeigt sich, daß die geometrisch äquivalenten Systeme physikalisch unterschiedlich wirken. Insbesondere wird demonstriert, daß störende Mikrospeckle beim Stabhomogenisierer grundsätzlich weit deutlicher auftreten.

**Die Lichtverteilung und ihre Beeinflussung durch Aberrationen**  
J. Sprenger

Carl Zeiss CMP GmbH  
joerg.sprenger@zeiss.com

Obwohl im weitesten Sinne eine optische Abbildung die Lichtverteilung eines Objekts in eine Lichtverteilung im Bildraum umwandelt, fallen die Bewertungskriterien für diese Transformation wie bspw. die Strehlsche Definitionshelligkeit oder der Helligkeitsabfall bzw. die Verteilung der Beleuchtungsstärke in unterschiedliche optische Disziplinen. Während in der Beleuchtungstechnik der Fokus auf der Verteilung des Lichtstroms liegt, geht die Abbildende Optik davon aus, dass ausreichend Lichtmenge zur Verfügung steht, und beschreibt die geometrischen Bild-Abweichungen mittels Aberrationen. Wie sich auch ohne Vielstrahlrechnungen im Rahmen der Bildfehlertheorie Rückschlüsse auf die Lichtverteilung ergeben, soll dargestellt und diskutiert werden.



**Modellierung von Lichtverteilungen**

H. Rehn\*, J. Muschaweck\*\*

\* FISBA AG, St. Gallen;

\*\* JMO GmbH, Gauting

henning.rehn@fisba.com

In der Beleuchtungsoptik steht man oft vor der Aufgabe, Lichtverteilungen im Orts- und Winkelbereich angenähert zu beschreiben, um Berechnungen analytisch vornehmen zu können.

Wir diskutieren Gauss- und  $\cos^n$ -förmige Verteilungen, ihre Vor- und Nachteile und zeigen ihre Anwendung anhand einer Reihe von Beispielen.

**Gefaltete anamorphotische Einzelpismen und farbkorrigierte Prismenpaare**

E. Langenbach

eckhard.langenbach@sunrise.ch

Viele Diodenlaser emittieren unrunde Strahlbündel, die nach der Kollimation mit einer rotationsinvarianten Optik einen elliptischen Querschnitt aufweisen. Oft erfordern die Anwendungen aber kreisförmige Strahlquerschnitte. Für diese anamorphotische Strahlumformung sind z.B. unsymmetrisch genutzte Prismen geeignet. Spiegelnde Prismenflächen ermöglichen, dass die Strahlumformung sowie die Strahlrichtung mit nur einem Bauteil beeinflusst werden. Erfolgt die Spiegelung an einer Strahlteilerfläche, können mehrere Laserstrahlen zusammengeführt werden, wobei jeder Strahl individuell umgeformt wird.

Häufig erfolgt die Strahlumformung mit anamorphotischen Prismenpaaren, bei denen zwei identische, unsymmetrisch verwendete Prismenkeile den Strahlquerschnitt in einer Richtung stauchen oder strecken. Solche Prismenpaare bewirken einen seitlichen Strahlversatz, lassen die Strahlrichtung aber unverändert. Die Brechzahl des Prismenmaterials hängt von der Wellenlänge, der Temperatur oder dem Luftdruck ab, und diese Brechzahländerungen beeinflussen die Ausgangsstrahlrichtung. Es werden Konzepte für Paare unterschiedlicher Prismen vorgestellt, die solche Aberrationen vermeiden.

**10:45 Kaffeepause**



## **Untersuchung von kohärenzscannenden Interferometern mit integrierter Schwingungskorrektur**

H. Serbes, S. Tereschenko, A. Stelter, A. Metzker, P. Lehmann

Fachgebiet Messtechnik, Universität Kassel

h.serbes@uni-kassel.de

Zur hochauflösenden flächenhaften optischen Messung von Oberflächentopographien technischer und optischer Funktionsflächen hat sich die kohärenzscannende Interferometrie (CSI), auch bekannt als Weißlichtinterferometrie, als flexibles industrielles Standardmessverfahren etabliert. In dieser Arbeit präsentieren wir ein schwingungskorrigiertes CSI, das einen oszillierenden Referenzspiegel und einen integrierten interferometrischen Abstandssensor (IDS) umfasst. Der IDS arbeitet synchron mit dem CSI und misst die Abstandsänderungen während des Tiefenabtastprozesses mit hoher zeitlicher Auflösung. Die durch den IDS gewonnenen zusätzlichen Informationen werden genutzt, um die CSI-Daten zu korrigieren, die durch unerwünschte Abstandsänderungen aufgrund von Umgebungsvibrationen nach der Messung gestört sind. In früheren Arbeiten konnte die Machbarkeit dieser Technik mit gängigen Interferometeranordnungen nachgewiesen werden, wodurch das Spektrum der möglichen Anwendungen erweitert wurde. Der vorliegende Beitrag beschreibt weitergehende Untersuchungen an verschiedenen Oberflächentopographien, die insbesondere auch multifrequente und transiente Schwingungseinflüsse berücksichtigen.

## **Interferometrisch genaue Messung der Zellausdehnung – eine Lösung für ein wachsendes Problem der Elektroauto-Industrie**

G. Bohn, S. Gieling

Technologietransferzentrum Elektromobilität, TU Würzburg-Schweinfurt

gunther.bohn@thws.de

Lithium-Ionen-Batteriezellen expandieren beim Laden und im Laufe ihrer Lebenszeit. Beim Laden verursachen Lithiumatome eine Ausdehnung der Graphitschichten um 12 % und der Zelle um  $40\mu\text{m}$  bis  $1000\mu\text{m}$ . Nebenreaktionen wie das Wachstum der Solid-Electrolyte-Interface und Lithium-Plating erhöhen die Ausdehnung weiter, was Zellen oder Gehäuse beschädigen kann. Die aktuelle Entwicklung hin zu größeren Zellkapazitäten und -dicken sowie Schnellladung verschärfen das Problem. Mechanische Messtaster erfassen Ausdehnung mit 100nm Auflösung, genauere Verfahren sind auf Laborzellen beschränkt. In diesem Vortrag wird eine neuartige interferometrische Messmethode vorgestellt, die eine Auflösung von 10nm ermöglicht, auch beim Betrieb in einer Klimakammer. Die hohe Auflösung wird erreicht durch einen selbstentwickelten Helium-Neon Laser-Interferometeraufbau mit Kompensation von mechanischen Vibrationen und thermischen Ausdehnungseffekten. Aktuell wird an der Detektion von Lithium-Plating durch Ausdehnungsmessung geforscht. Das Verfahren eignet sich für alle Zellchemien und auch für aktuelle Großzellen, so dass sich zukünftig ein weites Einsatzfeld in der Elektroauto-Industrie ergibt.





**Interferometrisches Messsystem zur Visualisierung von Ultraschallfeldern**

R. Schuster\*, J. H. Dörsam\*\*, S. Soenneken\*\*, Y. Schrödel\*\*\* \*\*\*\* \*\*\*\*\*,  
C. M. Heyl\*\*\* \*\*\*\* \*\*\*\*\* , M. Kupnik\*\*, A. Harth\*

\* Zentrum für Optische Technologien, Aalen School of Applied Photonics, Hochschule Aalen, Aalen;

\*\* Technische Universität Darmstadt, Darmstadt;

\*\*\* Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg;

\*\*\*\* Helmholtz Institute, Jena;

\*\*\*\*\* GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH  
regina.schuster@hs-aalen.de

Die beugungsbasierte Ablenkung eines Laserstrahls an einem Ultraschallfeld in Luft weist großes Potential auf. Dies erfordert individuell gefertigte Hochleistungs-Ultraschallwandler, deren detaillierte und berührungslose Charakterisierung essenziell ist. Die Charakterisierung solcher Schallfelder erfolgt typischerweise akustisch, wobei ein Mikrofon direkt in das Feld eingebracht wird. Diese Wechselwirkung stört das Signal und kann das Messergebnis verfälschen. Für eine berührungslose Visualisierung solcher Schallwellen wird häufig ein sogenannter Schlierenaufbau verwendet, mit der Einschränkung, dass es sich dabei meist um eine rein visuelle Darstellung und nicht um quantitative Messwerte handelt. In dieser Arbeit wird ein neuartiges, bildgebendes Messsystem vorgestellt, das eine vielversprechende Alternative zum klassischen Schlierenaufbau darstellt. Das System basiert auf einem Interferometer, das die zweidimensionale Visualisierung von Schalldruckverteilungen mit einer einzigen Aufnahme ermöglicht. Die durch die stehenden Ultraschallwellen induzierte Modulation des Luftdrucks führt zu einer Änderung des Brechungsindex der Luft, die mithilfe des Interferometers detektiert wird.

**Neue Messstrategie für Präzisionskugeln mit einer fünfachsigigen Messmaschine**

C. Fan, J. Belkner, I. Ortlepp, T. Fröhlich

Institut für Prozessmess- und Sensortechnik, Technische Universität Ilmenau  
chao.fan@tu-ilmenau.de

Zur Vermessung von Präzisionskugeln mit geringster Messunsicherheit wurde eine 3D-Nanopositioniermaschine NMM-1 um zwei zusätzliche rotative Freiheitsgrade erweitert. Eine Rotation um  $360^\circ$  und Neigung um  $50^\circ$  des Antastsystems um das Rotationszentrum ermöglichen es, während der Messung stets senkrecht zur Messobjektoberfläche anzutasten, und so den Messfehler bei einer kontinuierlichen Messung zu minimieren.

Die erweiterte NMM-1 verwendet einen optischen Fokussensor, der den Abstand zur Probenoberfläche kontaktlos misst, indem die Veränderung des reflektierten Strahls analysiert wird, nachdem der Laser auf die Oberfläche eines Objekts fokussiert wurde. Durch eine 3D-Messung mehrerer kleiner Bereiche auf der Kugeloberfläche und deren Zusammenführung konnte die messbare Fläche der Kugel im Vergleich zu einem feststehenden Fokussensor erheblich vergrößert werden. Zur Demonstration des Messkonzeptes wurde eine Präzisionskugel ( $d = 9 \text{ mm}$ ) in einem Bereich von  $\pm 45^\circ$  mit einer Messgeschwindigkeit von  $10 \mu\text{m/s}$  vermessen.

Durch die geringe Positionierungsunsicherheit der NMM-1 kann diese Maschine auch als Positioniereinheit für die Fabrikation auf kugelförmigen Oberflächen eingesetzt werden.

12:15 **Mittagspause**

F  
R  
E  
I  
T  
A  
G

**Hot vapor spectroscopy with integrated photonic waveguides**

R. Löw, A. Belz, B. Shnirman, X. Cheng, T. Pfau

5th Institute of Physics, University of Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart, Germany  
 r.loew@physik.uni-stuttgart.de

The spectroscopy of hot atomic vapors, especially of rubidium and cesium, is a hot topic since the early studies of Bunsen and Kirchhoff more than 150 years ago. Today the precision spectroscopy of alkali gases, and some molecular gases, ranges from fundamental research to real world applications. Especially the possibility to integrate light sources, optics, electronics in a miniaturized way has been driving the field forward during the last decade. One way to integrate atomic spectroscopy with versatile optical components are photonic waveguides made of various materials, such as silicon, silicon nitride or KDP, lithographically structured with industry standard processes. This state of the art technology allows for high quality photonic structures such as waveguides, splitters, resonators, interferometers, which can now be combined with the linear and non-linear optical properties of atomic gases.

In this talk we will present, how to realize various types of integrated spectroscopy cells with a focus on applications in quantum optics, especially nonlinear effects down to the single photon level.

**Micro-optical System for Selective Excitation of Higher-order Fiber Modes**

O. Ghosh, A. Toulouse, M. Wende, A. Herkommer

Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart  
 oindrila.ghosh@ito.uni-stuttgart.de

The increasing demand for high data rates to advance classical and quantum communication has become evident in the recent years. Space-Division-Multiplexing (SDM) overcomes the fundamental limit of channel capacity due to bandwidth, signal to noise ratio, environmental factors. Successful implementation of SDM requires devices such as mode-converters (e.g., phase plates) which come at a cost of considerable designing and fabrication effort and often have low transmission efficiency due to alignment imperfections and high wavelength dependencies.

This work aims to analyze the prospect of selectively coupling two normally-incident gaussian beams into LP<sub>11</sub> modal lobes. The input gaussian beams are optimally offset from the output fiber core axis and do not require direct phase manipulation. Initially, the concept was validated using a simplified mathematical model followed by design and optimization of a micro-optical system using ray- and wave-optical simulation tools. Finally, we fabricated a three-fold fiber connector combining precise mechanical mounting with our simulated optical system using two-photon polymerization-based 3D printing.



**3D-Druck von fluoreszierenden Mikrostrukturen für die Sensorik**

V. Aslani\* \*\*, S. Baghapour\*\*\*, W. Q. Zhang\*\*\*, S. C. Warren-Smith\*\*\*, S. Plush\*\*\*, M. Heymann\*\*\*\*, A. Herkommer\* \*\*, S. Afshar Vahid\*\*\*, A. Toulouse\* \*\*

\* Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart;

\*\* Research Center SCoPE, Universität Stuttgart;

\*\*\* STEM, University of South Australia;

\*\*\*\* Institut für Biomaterialien und biomolekulare Systeme, Universität Stuttgart  
aslani@ito.uni-stuttgart.de

Die Multi-Photonen-Lithografie hat sich zu einer wichtigen Technologie zur Fertigung von komplexen Mikrooptiken und Mikrostrukturen entwickelt. Die für den 3D-Druck verwendeten Materialien bestimmen dabei maßgeblich die Qualität und Funktionalität der gefertigten Strukturen. Mit der Entwicklung neuartiger druckbarer Materialien könnte sich dieser Technologie in Zukunft ein noch viel breiterer Anwendungsbereich erschließen, wodurch z. B. die Miniaturisierung von Sensorsystemen weiter vorangetrieben werden kann. Wir zeigen, dass durch das Einbringen von Fluorophoren in etablierte transparente Fotolacke 3D-gedruckte fluoreszierende Mikrostrukturen gefertigt werden können. Dazu werden unter anderem lanthanoidbasierte Fluorophore verwendet, die im Vergleich zu Standardfluorophoren eine langlebigere Fluoreszenz aufweisen, welche je nach Material auch von Parametern wie der Temperatur oder dem pH-Wert abhängig sein kann. Ein von uns entwickelter Ansatz erlaubt das direkte Aufdrucken der fluoreszierenden Strukturen auf das Ende von optischen Fasern und somit die Realisierung kleinster faserbasierter Sensoren. Wir präsentieren die erfolgreiche Herstellung und Anwendung dieser Mikrosensoren.

**Mikrofluidisch aktuerbare, 3D-gedruckte PDMS-Membran integriert auf einer optischen Faser**

J. Grunewald\*, F. Rothermel\*, O. Walker\*\*, M. Wende\*, J. Drozella\*, M. Heymann\*\*\*, A. Toulouse\*

\* Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart;

\*\* Institut für Physikalische Chemie, Universität Stuttgart;

\*\*\* Institut für Biomaterialien und biomolekulare Systeme, Universität Stuttgart  
st164412@stud.uni-stuttgart.de

Multiphotonen 3D-Druck ermöglicht die Herstellung stark miniaturisierter optischer Systeme. Aktive optische Elemente zur Änderung der Fokusslage sind ein essenzieller Baustein für komplexere mikrooptische Systeme. Herkömmliche Aktuatoren können bei den kleinen Dimensionen, wie sie etwa auf der Spitze einer optischen Singlemode-Faser vorkommen, allerdings nur schwierig eingesetzt werden. Die magnetische Aktuierung 3D-gedruckter Mikrolinsen auf der Spitze optischer Fasern wurde kürzlich demonstriert. Eine weitere Alternative stellt die Verformung einer flexiblen 3D-gedruckten Membran dar, die eine Oberfläche des mikrooptischen Systems bildet.

Wir demonstrieren ein Singlemode-Faser-integriertes, aktuerbares System mit einer flexiblen Membran aus dem elastischen Fotolack IP-PDMS. Über einen mikrofluidischen, 3D-gedruckten Adapter wird Druck auf die PDMS-Membran ausgeübt, um so über eine Änderung des Krümmungsradius das Fokussverhalten zu beeinflussen. Im Experiment erzeugt ein dynamisch angelegter Druck eine wiederholbare Durchbiegung der flexiblen PDMS-Membran und eine Veränderung des Strahlprofils kann beobachtet werden. Das Gesamtsystem hat einen Durchmesser von ca. 1 mm.

12:15 **Mittagspause**

F  
R  
E  
I  
T  
A  
G

A

A32  
13:15

## **Anwendung generischer Kamerakalibrierung für optische Messsysteme in der Fertigungstechnik**

C. Schmerbeck, M. Heizmann

Institut für Industrielle Informationstechnik, Karlsruher Institut für Technologie  
carsten.schmerbeck@kit.edu

Zur Realisierung effizienter Automatisierungslösungen für die Fertigung müssen Machine-Vision-Systeme die Lage von Bauteilen im Automobilbereich sicher und mit hinreichend kleinen Unsicherheiten erkennen können.

Im Gegensatz zu bisherigen Modellen der Kamerakalibrierung mit nur wenigen Parametern bietet die generische Kamerakalibrierung die Möglichkeit, Kamerasysteme Pixel für Pixel zu beschreiben. Verzerrungen durch Kameraobjektive werden so implizit erfasst und müssen nicht modellgestützt ausgeglichen werden.

Unser Ansatz kombiniert ein Multiview-Stereo (MVS) Kamerasystem mit generischer Kamerakalibrierung. Zunächst werden die Kameras mit Hilfe eines Monitors und einer Phasenverschiebungskodierung generisch intrinsisch kalibriert. Die extrinsische Kalibrierung erfolgt auch generisch mit ArUco-Markern als Referenzpunkte, basierend auf dem Iterative Closest Point Algorithm (ICP). Wir konnten anhand der Vermessung mehrerer Kalibriermuster sowie einer Anwendung, dem erfolgreichen Greifen von Steckverbindern, zeigen, dass sich MVS mit generischer Kamerakalibrierung für Messzwecke eignet.

F  
R  
E  
I  
T  
A  
G

A33  
13:30

## **Ev2Gray: Generating Intensity Images from Event Streams**

J. Baßler, M. Heizmann

Institute for Industrial Information Technology (IIIT), Karlsruhe Institute for Technology (KIT)  
johannes.bassler@kit.edu

Event-based vision sensors surpass traditional frame-based cameras for capturing dynamic changes, yet they struggle with static regions and lack absolute intensity information, limiting scene understanding. This work addresses that by generating absolute intensity images without a secondary camera. The key idea is a moving opaque strip that traverses the field of view, deliberately occluding and then revealing parts of the scene. Since the occlusion intensity is identical for all pixels, it provides a universal reference point. By counting positive and negative events during occlusion and revelation, the method yields a relative intensity value with respect to the occlusion-level brightness — even in otherwise static regions. By producing meaningful grayscale images while preserving the advantages of event-based sensors and introducing minimal disturbance through brief, localized occlusion, our method bridges the gap between relative event output and absolute intensity information, thereby enabling broader applications for event-based vision systems.





**Subpixelgenaue dichte 4D-Messung dynamischer Szenen mit Event-Kameras und strukturierter Beleuchtung**

C. Freitag\* \*\*, S. Heist\*, A. Stark\*\*, A. Turelli Khusainova\* \*\*, G. Notni\* \*\*\*,  
Christian Franke\*\* \*\*\*\*

\* Fraunhofer IOF;

\*\* Physikalisch-Astronomische Fakultät, Friedrich-Schiller-Universität Jena;

\*\*\* Fachgebiet Qualitätssicherung und Industrielle Bildverarbeitung, Technische Universität Ilmenau;

\*\*\*\* Jena Center for Soft Matter, Friedrich-Schiller-Universität Jena  
christoph.freitag@iof.fraunhofer.de

In diesem Vortrag wird ein Verfahren vorgestellt, das Event-Kameras nutzt, um präzise Punktwolken von sich bewegendenden Szenen zu rekonstruieren. Dabei werden Stereo-Messungen durchgeführt, während eine strukturierte Lichtquelle die Szene mit einer bewegten Kontrastkante beleuchtet. Ein neuer Ansatz ermöglicht es, die Punkte subpixelgenau zu bestimmen und somit eine präzise Triangulation von 4D-Punkten (drei räumliche Dimensionen plus Zeit) durchzuführen. Ein wichtiger Bestandteil dieses Ansatzes ist ein Modell, das die Bewegung der Kontrastkante beschreibt. Dieses Modell hilft dabei, die gemessenen 4D-Punkte in zwei Kategorien zu unterteilen: solche, die durch die Kontrastkante hervorgerufen wurden, und Rauschpunkte. Die Forschung zielt darauf ab, zu zeigen, dass mit dieser Methode dichte und präzise 4D-Rekonstruktionen möglich sind und dass das Modell der Lichtquelle die Messgenauigkeit erheblich verbessert.

**Telezentrisches Stereo-3D-Messsystem für biologische Proben – Präzise Volumenmessung mit isotroper Mikrometernauflösung**

A. Stark\*, A. Osadare\*, M. Guo\*, G. J. Gentsch\*, D. Böttger\*\*, G. Brehm\*\*,  
C. Franke\* \*\*\* \*\*\*\*

\* Institut für Angewandte Optik und Biophysik, Friedrich-Schiller-Universität Jena;

\*\* Phyletisches Museum, Friedrich-Schiller-Universität Jena;

\*\*\* Jena Center for Soft Matter, Friedrich-Schiller-Universität Jena;

\*\*\*\* Abbe Center of Photonics, Friedrich-Schiller-Universität Jena;  
andreas.stark@uni-jena.de

Wir präsentieren ein telezentrisches Stereo-3D-Messsystem zur hochpräzisen Volumenmessung biologischer Proben, insbesondere Lepidopteren. Das System kombiniert strukturierte Beleuchtung mit einem stereophotogrammetrischen Kamerasystem mit telezentrischen Objekten und erreicht eine isotrope Auflösung von  $8,0\ \mu\text{m}$  lateral und  $4,46\ \mu\text{m}$  axial bei einem Messvolumen von  $11\ \text{mm} \times 11\ \text{mm} \times 6\ \text{mm}$ . Eine von uns angepasste Kalibrierungsmethode korrigiert die durch Standard-Bibliotheken wie OpenCv2 verursachten Fehler, die durch die falsche Auswahl von extrinsischen Parametern verursacht wird. Durch die Korrektur können so verzerrungsfreie 3D-Rekonstruktionen erzeugt werden. Die Leistungsfähigkeit des Systems wird durch die Vermessung von Standardkalibrierobjekten und einer kleinen Geometridenart demonstriert. Mit dieser Methode lassen sich feinste Details kontaktlos erfassen, wodurch perspektivisch neue Einblicke in morphologische Anpassungen und Entwicklungsprozesse ermöglicht werden. Das System bildet eine Brücke zwischen makroskopischer und mikroskopischer Messtechnik und zeigt Potenzial für zukünftige Anwendungen in Biologie und Industrie.



**An ultracompact hyperspectral imager based on the MACTIS technology**

M. Mel, S. Lin, A. Gatto

Sony Europe B.V.  
 Sony Semiconductor Solutions Europe  
 Stuttgart Technology Center  
 mazen.mel@sony.com

Computed Tomography Imaging Spectrometers (CTIS) capture spatial and spectral information of a scene as compressed 2D measurements. CTIS technology can be used to design imaging devices with extremely small form factors and snapshot imaging capability. In this work, we introduce Multi-Aperture CTIS (MACTIS), an ultrathin snapshot hyperspectral imaging device that measures just 4 mm × 3 mm × 3 mm. It is attached directly on top of a smartphone's image sensor, allowing easy integration into today's phones. MACTIS captures spectral information within the visible range of [420 nm, 800 nm] with a spectral resolution of 1 nm and raw spatial image resolution of 500x500 pixels at 1 μm pixel pitch and 28.8° diagonal field of view using the Sony IMX650 image sensor. Compared to a conventional CTIS system the multi-aperture design offers flexibility in balancing the spectral/spatial resolution tradeoff for various application requirements. Paired with our computational reconstruction software, MACTIS can reliably recover hyperspectral images at quasi-real-time performance.

**M.I.A.U. (Machine Integrated Authentication Unit): Intelligente Katzenidentifikation auf einem Embedded System**

U. Birk\* \*\*, V. Aemisegger\*, S. Müller\*, Y. Diggelmann\*, H. Merbold\*

\* Institut für Photonics und Robotics, Fachhochschule Graubünden;

\*\* Institut für Physik, Universität Mainz  
udo.birk@fhgr.ch

„M.I.A.U.“ ist ein intelligentes System zur Katzenidentifikation auf einem Embedded System (Raspberry Pi mit AI Shield). Ein trainiertes YOLOv8-Modell erkennt in Echtzeit, welche Katze versucht, ins Haus zu gelangen. Es wurden umfangreiche Bilddaten verschiedener Katzen unter unterschiedlichen Bedingungen erfasst und in sechs Kategorien (vier bekannte Katzen, „unbekannte Katze“, „keine Katze“) eingeteilt und gelabelt. Anschließend wurde ein YOLOv8-Modell trainiert und auf dem Raspberry Pi mit Kamera für Echtzeit-Inferenz implementiert. Das System identifiziert die aktuelle Katze und kann Aktionen auslösen.

In einer Live-Demo zeigte M.I.A.U. hohe Erkennungsgenauigkeiten, aber auch Störanfälligkeit gegenüber Bildern bei schlechten Lichtverhältnissen, die Verwechslung ähnlich aussehender Katzen und die Erkennung von Katzen aus Störsignalen (z.B. Laub). Ansätze zur Lösung bieten Vorverarbeitungstechniken, ein größerer Datensatz mit Augmentierung und Filtermechanismen. Das System demonstriert das Potenzial von Embedded Systems mit CNNs für anspruchsvolle Tieridentifikationsaufgaben und ist vielseitig einsetzbar.

14:45 **Kaffeepause**  
15:15 **DGaO-Mitgliederversammlung**  
15:15 **Poster**  
18:00 **Fraunhofer-Vorlesung: Peter de Groot**  
19:00 **Gala Dinner:** Hotel Maritim

**Simulation von Strukturfarben basierend auf metallischen Gittern mit trapezförmigem Profil**

H. Lochbihler\*, B. Kleemann\*\*

\* G+D Currency Technology GmbH, München,

\*\* retired from Carl ZEISS AG, Oberkochen

hans.lochbihler@gi-de.com

Numerische Modelle von Gittern zur Erzeugung von Strukturfarben beschreiben vielfach Gitterprofile mit einer Rechteckstruktur. In der Praxis weichen Gitterprofile von der idealen Rechteckform ab und sind trapezförmig. Diese Form begünstigt auch die defektfreie Replizierung von Gitterstrukturen in einem kostengünstigen Rolle-zu-Rolle Nanoimprint Verfahren, da sich die Entformkräfte beim Prägeprozess für trapezförmige Profile deutlich verringern.

Wir verwenden ein numerisches Modell auf Basis der Integralmethode, welches Simulationen der Lichtbeugung an Gittern mit trapezförmigem Profil und metallischen Mehrfachbeschichtungen mit hoher Genauigkeit ermöglicht. Unsere numerische Studie zeigt, wie sich Abweichungen im Gitterprofil ausgehend von der idealen Rechteckstruktur hin zu Trapezformen auf die Reflexionsspektren in der nullten Beugungsordnung auswirken. Im Ergebnis wird der Einfluss der Flankensteigung der Trapezform auf die wahrgenommene Farbe in der Reflexion untersucht. Dadurch kann das Design des Gitterprofils von Strukturfarben hinsichtlich ihrer Farbeigenschaften und ihrer defektfreien Herstellbarkeit optimiert werden.

**Chromatische Eigenschaften tief geätzter DOEs in hochbrechendem amorphem Siliziumcarbid (a-SiC:H)**

J. Wüster\*, M. Bergholz\*, M. Hofmann\*, P. Feßer\*, T. Handte\* \*\*, S. Sinzinger\*

\* Fachgebiet Technische Optik, Technische Universität Ilmenau

\*\* 5microns GmbH, Ilmenau

julian.wuester@tu-ilmenau.de

Amorphes Siliziumcarbid weist aufgrund seines hohen Brechungsindex und insbesondere aufgrund der Tatsache, dass dieser während des Abscheidungsprozesses innerhalb eines großen Bereiches eingestellt werden kann, spannende Eigenschaften für den Einsatz in diffraktiven optischen Bauelementen (DOEs) auf. Demonstriert haben wir mit unseren Anlagen zur chemischen Gasphasenabscheidung (CVD) einen Brechungsindexbereich von  $n=1,9$  bis  $n=2,9$  bei  $\lambda=680\text{nm}$  [1].

Für die Achromatisierung von Elementen und für die sub- $\lambda$ -strukturierte Optik werden Phasenelemente mit großen Phasentiefen benötigt. Die Verwendung von hochbrechenden Materialien führt zu einer signifikanten Erleichterung der Fertigung, da geringere Aspektverhältnisse benötigt werden. Wir zeigen binäre und mehrstufige Gitter sowie Linsen in SiC mit Phasentiefen von  $\pi$  als auch mit tieferen Ätzungen. Wir stellen RCWA-Simulationen der chromatischen Eigenschaften und die Messungen der Beugungseffizienzen dieser Elemente vor.

[1] T. Handte et al.: „Advanced manufacturing techniques for amorphous silicon carbide (a-SiC:H): (...)“ Opt. Mater. Express 15, 74-94 (2025)



**Interferometrisches Streifenstabilisierungssystem für scannende Interferenzlithografie auf Basis eines Polarisations-Bildsensors**

K. Treptow\*, H. Wu\*, J. Rühle\*\*, I. Ortlepp\*\*\*, O. Sawodny\*\*, E. Manske\*\*\*,  
T. Kissinger\*\*\*, C. Pruß\*, T. Haist\*, S. Reichelt\*

\* Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart

\*\* Institut für Systemdynamik, Universität Stuttgart

\*\*\* Institut für Prozessmess- und Sensortechnik, Technische Universität Ilmenau

kevin.treptow@ito.uni-stuttgart.de

Diffraktive Gitter werden heutzutage in zahlreichen optischen Anwendungen verwendet. Dabei wachsen die Anforderungen an die präzise Herstellung dieser Elemente stetig. Einerseits sollen großflächige Elemente mit Kantenlängen von einigen Zentimetern in kürzester Zeit hergestellt werden, andererseits sollen die Perioden unterhalb der Belichtungswellenlänge liegen. Die scannende Interferenzlithografie (SBIL) schafft hier Abhilfe. Während des Belichtungsprozesses können Umwelteinflüsse wie Vibrationen, Druck- und Temperaturänderungen mittlerweile gut beherrscht werden. Brechungsindexschwankungen und Luftverwirbelungen sind weiterhin kritische Faktoren während der Herstellung. Durch diese Einflüsse ändert sich die relative Phasenlage der beiden interferierenden Strahlen, so dass sich die Minima und Maxima des Belichtungsmusters verschieben und Fehlbelichtungen im Fotolack entstehen. Unter Verwendung einer polarisationssensitiven Kamera wird die Phasenlage eines separaten Messstrahls detektiert und durch einen Piezoaktuator korrigiert. Zusätzlich kann durch diesen Ansatz die Rotation des Streifenmusters während des Belichtungsprozesses quantifiziert werden.

**Effect of substrate thickness on the etching rate of diffractive optical elements**

A. Savchenko, C. Pruß, A. Herkommer, S. Reichelt

Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart

savchenko@ito.uni-stuttgart.de

The substrate thickness of multilayer dielectric (MLD) pulse compression gratings can reach several centimeters. These elements are often fabricated using holography combined with plasma etching. Even though the effect of substrate thickness on the etching performance is huge, literature on this problem is scarce. With this work, we attempt to fill this gap. We have performed etching experiments on fused silica samples of different thicknesses (2, 5, and 10mm) in fluorocarbon inductively coupled plasma discharge (ICP). We have observed a significant deviation in etching rates for samples with different thicknesses under the same conditions. In extreme cases, the etching on a thick sample stops completely, while for thin substrates, the etching rate reaches its maximum. Results are analyzed with a specific one-dimensional fluid model of a plasma sheath coupled with an equivalent electric circuit model. The developed model allows to predict variations in potential and ion energy distributions at a substrate surface. We found that the thick substrate acts as a weak capacitor and reduces the energy of incident ions. This results in a change of the etching-passivation rates balance.





### **Erzeugung einer kollimierten, quasi-achromatischen Ringverteilung durch diffraktive Axicons**

N. Saß\*, C. Pruß\*\*, D. Schachtler\*, K. Treptow\*\*, O. Kriegelsteiner\*\*\*, T. Liebrich\*, S. Reichelt\*\*

\* RhySearch;

\*\* Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart;

\*\*\* HILTI Corporation

niklas.sass@rhysearch.ch

In diesem Vortrag wird ein optisches System vorgestellt, das eine kollimierte und quasi-achromatische ringförmige Intensitätsverteilung erzeugt. Das System basiert auf der Kombination zweier diffraktiven Axicons. Durch die Anpassung der Gitterphase eines Axicons kann das Intensitätsprofil gezielt manipuliert werden, um einen einzelnen Ring oder einen doppelten Ring zu erzeugen.

Das vorgestellte System ist von besonderem Interesse für Anwendungen in der Messtechnik, dem Atomtrapping und der Lasermaterialbearbeitung für Trepanierprozesse.

### **Highly tolerant, high-efficiency pulse compressor gratings for high-power lasers**

D. Bashir, T. Graf, Abdou Ahmed, M.

Institut für Strahlwerkzeuge, University of Stuttgart, 70569 Stuttgart, Germany  
danish.bashir@ifsw.uni-stuttgart.de

In this work, we present our research findings on high-efficiency pulse compression gratings (PCGs) operating in reflection and designed for high-power lasers. Our primary objective is to develop robust designs that withstand fabrication tolerances while maintaining a diffraction efficiency exceeding 99% over a spectral bandwidth of at least 20 nm around the central wavelength of the laser. Moreover, a key challenge in the development of PCG is ensuring their ability to sustain high energies and high peak powers (i.e. a relatively high laser-induced damage threshold (LIDT)). For this, we propose an approach based on reflective grating waveguide structures, where high diffraction efficiency is achieved through destructive interference in the specular reflection. This, however, demands precise design of the grating parameters (period, groove depth, and duty cycle) as well as the thicknesses of the coated material pairs (e.g.,  $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$  or  $\text{HfO}_2/\text{SiO}_2$ ). During the presentation, we will discuss the detailed design methodology; analyze the impact of structural parameters on PCG performances optimized for laser emitting at wavelength of 1030 nm, and present first experimental validation.

14:45 Kaffeepause

15:15 DGaO-Mitgliederversammlung

15:15 Poster

18:00 Fraunhofer-Vorlesung: Peter de Groot

19:00 Gala Dinner: Hotel Maritim



A

H6

09:00

## **Fertigung und Charakterisierung von Metalloptiken mit Freiformflächen**

S. Risse, J. Hartung, J. Frasch, M. Ulitschka, T. Porwol, S. Müller, N. Heidler, J. Kinast

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik  
stefan.risse@iof.fraunhofer.de

In der letzten Dekade gelang es den allgemeinen Trend der Nutzung von Freiformoptiken in Beleuchtungssystemen anwendungstauglich auf abbildende optische Systeme zu erweitern. Maßgeblich hierfür sind maßgeschneiderte Designansätze und Algorithmen sowie ein signifikanter Fortschritt in der Fertigung, Referenzierung und Messtechnik von Freiformflächen.

Die Anwendung von Asphären und Freiformen mit dem Fokus auf kürzere Wellenlängen erfordert eine signifikante Verbesserung von Formabweichung, Welligkeit und Rauheit der optischen Komponenten, und adressiert beugungsbegrenzte Systeme im visuellen Spektralbereich.

Die Herstellung von unsymmetrischen, freigeformten Optiken verlangt im Gegensatz zur klassischen, rotationssymmetrischen Fertigung, die Anwendung von deterministisch gesteuerten, punktuell oder teilflächig wirkenden Bearbeitungswerkzeugen. Der vorliegende Beitrag beleuchtet mess- und fertigungstechnische Strategien und Methoden zur Vermeidung und Korrektur hoch-, mittel- und niederfrequenter Oberflächenfehler auf metalloptischen Asphären und Freiformoptiken. Das Potential der Freiformfertigung, aber auch aktuelle Grenzen werden an Beispielen diskutiert.

H7

09:30

## **Hunting the picometer - Most accurate mirrors of the world to continue Moore's law** G. Brehm

Carl Zeiss SMT GmbH  
gerrit.brehm@zeiss.com

The demand for smaller and more energy-efficient microchips is key for numerous technological advancements, from fast communication to autonomous driving.

To support this thirst for chips and to continue Moores law, the ground-breaking developments of ZEISS optics play a key role. In this talk, an overview over the different generations of lithography optics of ZEISS is given. Applications and current developments are discussed. Insights into the challenges in production and operation of optics for extreme ultraviolet (EUV) radiation are presented.

S  
A  
M  
S  
T  
A  
G

10:00 **Kaffeepause**



**Eine vielseitige Laserplattform - kombinierte Emission von CW und ultraschnell gepulster Strahlung aus einem einzigen Scheiben-Multipass-Verstärker**

C. Schmittner\*, A. Loescher\*, C. Reiff\*\*, T. Graf\*, Abdou Ahmed, M.\*

\* Institut für Strahlwerkzeuge, Universität Stuttgart;

\*\* Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Universität Stuttgart

christian-peter.schmittner@ifsw.uni-stuttgart.de

Um neue Möglichkeiten in der Lasermaterialbearbeitung zu erschließen, ist die Kombination mehrerer Bearbeitungsprozesse in parallelen oder schnellen Sequenzschemata ein vielversprechendes Konzept. In diesem Beitrag stellen wir ein vielseitiges Lasersystem vor, das den ersten Schritt zur Universal-Lasermaschine darstellt, die für eine Reihe von Laserbearbeitungsaufgaben eingesetzt werden kann. Das neuartige Verstärkungskonzept ist der in der Lage, sowohl CW- als auch UKP-Laserstrahlung sequentiell und simultan zu verstärken und eine mittlere Ausgangsleistung in der kW-Klasse zu liefern. Der Ansatz verwendet ein Polarisations-Multiplexing-Schema zur Verstärkung von zwei Seeds in einem gemeinsamen Verstärker. Dies ermöglicht die Erzeugung eines einzigen, nahezu beugungsbegrenzten Ausgangsstrahls, bestehend aus CW- und UKP-Strahlung. Die hohe Vielseitigkeit des Systems wird durch den Einsatz mehrerer Modulatoren erreicht, die eine nahtlose Anpassung der absoluten Leistungswerte der einzelnen CW- und UKP-Anteile des erzeugten Strahls ermöglichen. Im Rahmen des Vortrags werden wir das Gesamtkonzept des Systems vorstellen und experimentelle Ergebnisse präsentieren.

**Dynamische Hochleistungsstrahlformung mittels LCoS und anschließender Verstärkung**

R. Kurth\*, F. Stute\*, O. Hofmann\*, A. Bonhoff\*, C. Holly\* \*\*

\* Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS, RWTH Aachen University;

\*\* Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

robin.kurth@tos.rwth-aachen.de

In der Lasermaterialbearbeitung ist die dynamische Laserstrahlformung komplexer Intensitätsverteilungen häufig durch die Zerstörschwelle des Strahlformelements auf Leistungsbereiche <200 W beschränkt. Um dynamische Strahlformung mit den für die Lasermaterialbearbeitung benötigten hohen Ausgangsleistungen zu erreichen, wird der Laserstrahl in diesem Beitrag daher zunächst bei Leistungsstufen unterhalb der Zerstörschwelle vorgeformt und anschließend optisch verstärkt. Nichtlineare Prozesse im optischen Verstärker führen zu einer Abweichung der erreichten Intensitätsverteilung von der Zielintensitätsverteilung. Um die durch den optischen Verstärker induzierten Änderungen zu kompensieren, muss der Verstärker daher bereits während des Strahlformungsprozesses berücksichtigt werden. Dazu wird ein Modell für einen endgepumpte Slab-Verstärker entwickelt und während des Strahlformungsprozesses verwendet, um die Auswirkungen des Verstärkers auf das Intensitätsprofil im Vorhinein zu kompensieren. Mit dieser Herangehensweise konnten experimentell bereits komplexe Strahlformen mit einem Verstärkungsfaktor von 1,3 realisiert werden.



**Extreme Parallelisierung erschließen: 1 kW Ultrakurzpulsbearbeitung mit Kompensation räumlich-zeitlicher Effekte bei großen Strahlteilungswinkeln**

D. Mekle\* \*\*, D. Grossmann\*\*\*, B. Dannecker\*\*\*, H. Höck\*\*\*, D. Bauer\*\*\*, D. Flamm\*, S. Nolte\*\* \*\*\*\*\*

\* TRUMPF Laser- und Systemtechnik SE, Ditzingen;

\*\* Institut für Angewandte Physik, Abbe Center of Photonics, Friedrich-Schiller-Universität Jena;

\*\*\* TRUMPF Laser SE, Schramberg;

\*\*\*\* Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Jena  
dario.mekle@trumpf.com

Neueste Fortschritte in der industriellen Ultrakurzpuls-Lasertechnologie führten zur Entwicklung der 1 kW TruMicro Serie 9000. Deren sub-Pikosekundenpulse mit bis zu 10 mJ Energie ermöglichen Hochdurchsatz-Prozesse, wobei typischerweise moderate Fluenzen für effiziente, hochwertige Ergebnisse nötig sind. Diffraktive Strahlteilung steigert den Durchsatz durch Aufteilung energiereicher Pulse in viele Spots, kann jedoch bei großen Beugungswinkeln räumlich-zeitliche Verzerrungen verursachen, wodurch die Spitzenintensität sinkt, während Spotdurchmesser und Pulsdauer zunehmen.

In einer Linie können über 300 äquidistante Spots erzeugt werden, nicht-äquidistant sogar über 1000. Dabei kann sich der Spotdurchmesser um den Faktor 3,5 und die Pulsdauer um 1,75 erhöhen. Diese Effekte können die Licht-Material-Wechselwirkung beeinflussen und müssen berücksichtigt werden. Dennoch ermöglicht die Kombination aus Hochleistungs-USP-Laser und optimierter diffraktiver Strahlteilung eine robuste, skalierbare Ultrakurzpulsbearbeitung im industriellen Maßstab – vorausgesetzt, räumlich-zeitliche Verzerrungen werden sorgfältig kompensiert, um gleichmäßige Qualität bei hohem Durchsatz sicherzustellen.

**Methode für Direct Laser Interference Patterning auf große Flächen mit hohen Raten**

A. Peter, S. Boley, A. Loescher, M. Buser, Abdou Ahmed, M., V. Onuseit, T. Menold, A. Michalowski, T. Graf

Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW), Universität Stuttgart  
alexander.peter@ifsw.uni-stuttgart.de

Direct Laser Interference Patterning (DLIP) ermöglicht die Herstellung periodischer Mikro- und Nanostrukturen für funktionale Oberflächen wie z.B. hydrophobe, antibakterielle oder optische Anwendungen. Um DLIP auf industriell relevante Flächen zu skalieren, stellen mechanische Vibrationen großer Positionierungssysteme eine Herausforderung dar, da sie die Strukturqualität beeinträchtigen. In dieser Arbeit wurden zwei zentrale Parameter identifiziert, die Vibrationseffekte minimieren: die elliptische Form des Interferenzmusters und vibrationsfreie Vorschubgeschwindigkeiten. Experimente auf einer Anlage mit einem Verfahrbereich von  $800 \times 800 \times 1000 \text{ mm}^3$  und einer Positioniergenauigkeit von  $10 \text{ }\mu\text{m}$  belegen, dass homogene Strukturen mit einer Periodizität von 850 nm auf großen Flächen bei einer Strukturierungsrate von  $400 \text{ mm}^2/\text{s}$  realisiert werden können.





**Laserbasierte Herstellung einer akustischen Kammer für ein optisches Mikrofon**

D. Bischof, M. Roth, F. Alder, R. Besserer, T. Strüning, M. Michler

OST - Ostschweizer Fachhochschule

david.bischof@ost.ch

Mikrofone werden in unserem Alltag für die Sprach- und Tonerkennung eingesetzt. Der Dynamikbereich der gegenwärtig verwendeten Mikrofone ist jedoch geringer als der des menschlichen Gehörs. Das PionEar Projekt zielt darauf ab, diesen Dynamikbereich durch die Entwicklung eines optischen Mikrofons auf Basis von VCSELn zu erweitern.

In dieser Konzeptstudie wird ein laserbasiertes Herstellungsverfahren zur Erzeugung einer miniaturisierten akustischen Kammer aus Glas vorgestellt. Diese akustischen Kammern dienen als Fundament für die Integration der VCSELs und Membranen für das Mikrofon. Die Substrate mit den akustischen Kammern werden mittels selektivem laser-induzierten Ätzen (SLE) und Standardmetallisierungsverfahren hergestellt. Das Design umfasst mehrere wesentliche Funktionen, darunter Säulenstrukturen für die Montage der VCSELs, einen optischen Port für die Lichtkopplung, elektrische Leiterbahnen für die VCSEL-Ansteuerung und Wärmeleiter für das Temperaturmanagement. Die SLE-Technik ermöglicht hierfür die Realisierung komplexer Strukturen innerhalb des Glassubstrats, die eine optimale Platzierung und Ausrichtung der VCSELs, Membranen und des optischen Messkanals gewährleisten.

**12:00 Ende der Tagung**



**Finite Refractive Index Selective Propagation (FRISP) – eine hocheffiziente Methode zur optischen Simulation refraktiver Mikrostrukturen**

F. Thiemicke\*, J. Bich\*, R. B. Bergmann\* \*\*, C. Falldorf\*

\* BIAS-Bremer Institut für angewandte Strahltechnik, Klagenfurter Str. 5, 28359 Bremen, Germany

\*\* Universität Bremen, MAPEX Center for Materials and Processes und Fachbereich 1: Physik und Elektrotechnik, Otto-Hahn-Allee 1, 28359 Bremen, Germany  
thiemicke@bias.de

Die Wellenfeldberechnung mittels Finite Refractive Index Selective Propagation (FRISP) ist eine hocheffiziente Methode zur Simulation optischer Mikrostrukturen. FRISP basiert auf einem innovativen zeitoptimierten Ansatz zur Simulation des Einflusses refraktiver Strukturen auf ein Wellenfeld auf der Grundlage der skalaren Beugungstheorie. Die Methode kombiniert das Rayleigh-Sommerfeld-Beugungsintegral mit einer Thin-Element-Approximation für Schichtdicken, die deutlich kleiner sind als die Wellenlänge des verwendeten Lichts. Dies ermöglicht eine präzise Bestimmung des Wellenfeldes auch im Nahfeldbereich der refraktiven Strukturen. Darüber hinaus reduziert FRISP die mathematische Komplexität im Vergleich zu Methoden wie Finite-Difference-Time-Domain (FDTD) erheblich. Ein Vergleich von FRISP mit FDTD-Simulationen und experimentellen demonstriert die Qualität der Methode. Dies zeigen Simulationen und Messungen der 3D-Intensitätsverteilung an mittels 2-Photonen-Polymerisation hergestellten Mikrostrukturen und Wellenfeldmessungen an mittels Stereo-Lithografie gefertigten transparenten makroskopischen Proben.

**Simulationssoftware für holografisch-optische Wellenleistersysteme**

E. Köthe \* \*\*, P. Vojtisek \*, S. Sinzinger \*\*

\* MicroOptics, Carl Zeiss Jena GmbH;

\*\* Fachgebiet Technische Optik, Technische Universität Ilmenau  
elisa.koethe@gmx.de

Holografisch-optische Wellenleistersysteme ermöglichen eine räumlich versetzte Detektion. Zur Dimensionierung der Geometrie dieser Systeme wird Optik-Simulationssoftware eingesetzt. In diesem Kontext wurde eine innovative Simulationssoftware entwickelt, die speziell für holografisch-optische Wellenleistersysteme konzipiert ist. Diese Systeme umfassen holografisch erzeugte Elemente für die Lichtein- und -auskopplung sowie ein Propagationsmaterial.

Die Simulation ermöglicht die Optimierung des Designs von Wellenleistersystemen und reduziert den Entwicklungsaufwand erheblich. Die Vorhersagen der Software wurden mit den tatsächlich übertragbaren Spektren hergestellter Wellenleistersysteme verglichen, wobei sich herausstellte, dass die Software zuverlässige und präzise Vorhersagen liefert.



B

B40  
11:00

### **Empirisches Modell für elektrisch deformierte Linsen**

M. Dohmen\*, A. Heinrich\*, C. Neumann\*\*

\* Zentrum für optische Technologien, Hochschule Aalen,  
\*\* Lichttechnisches Institut, Karlsruher Institut für Technologien  
mike.dohmen@hs-aalen.de

Wir stellen eine Methode zur Herstellung von Mikrolinsen und kleinen Linsen vor, bei der flüssige Polymertropfen im statischen elektrischen Feldern deformiert und ausgehärtet werden. Zur Kontrolle der Linsenform wird eine Kombination aus Experimenten und numerischer Modellierung eingesetzt. Die Schattenwurf-Methode erfasst die Tropfenkontur vor und nach dem Anlegen eines elektrischen Feldes und liefert so Daten über den Deformationsprozess. Mittels der Finite-Elemente-Methode wird die auf den Tropfen wirkende elektrische Feldverteilung simuliert. Diese Simulationen ermöglichen die Analyse der Wechselwirkung zwischen dem elektrischen Feld und dem Tropfen, was zur Entwicklung eines empirischen Modells genutzt wird. Dieses Modell erlaubt die Vorhersage der Verformung des Tröpfchens basierend auf der angelegten Spannung und den Materialparametern für eine spezifische Elektrodenkonfiguration. Die ermittelte Geometrie wird in Light-Tools simuliert, um die Lichtverteilung und die optischen Eigenschaften zu analysieren. Das Modell liefert einen neuen Ansatz, um die Form der Deformation vorauszusagen.

B41  
11:15

### **Rigorous Modeling of Sensor Responses in Confocal Microscopy Using the 3D Boundary Element Method**

L. Fu, S. Reichelt

Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart  
Liwei.Fu@ito.uni-stuttgart.de

To accurately predict the optical sensor response in confocal microscopy, we develop a digital twin of the system using the rigorous 3D boundary element method (BEM). This approach allows us to analyze and correct measurement errors arising from surfaces with varying shapes, slopes, and pitches. We systematically simulate a range of structures, including rectangular gratings and rough surfaces with varying roughness, and validate the results against experimental data. Additionally, simulations of gratings with edge rounding and substrate tilt provide valuable insights into experimentally observed phenomena.



**Comparison of a rigorous confocal microscope model with real measurements on a 1D grid**

S. Wyss\*, B. Bodermann\*, S. Gao\*, L. Fu\*\*, S. Reichelt\*\*

\* Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig;

\*\* Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart

silvana.wyss@ptb.de

A model of a confocal microscope has been developed and used for first simulations. The model uses the Boundary Element Method (BEM) to solve the Maxwell equations numerically for the interaction of the light with the object under test. For this part of the model the program SpeckleSim, developed and provided by the Institute of Technical Optics of the University of Stuttgart, is used. The imaging process of the microscope is realized with an implementation based on Fourier optics. The model is used to simulate a confocal measurement of a rectangular line structure, whereby the selected parameters of the measurement system correspond as closely as possible to the values of a real confocal microscope, the twip Consigno UL. To minimize the computing time, only the smallest symmetrical unit was simulated and then built up into a line structure by mirroring and lining up. The result is compared with a real confocal measurement of a 1D grating. The surface used as input for the simulation has the same dimensions (pitch, width and height) and geometry as the nominal values of the measured 1D grating. The first results of this comparison are presented.

12:00 **Ende der Tagung**





P1 **de Broglie-Bohms Pilot Wave Theory to Determine Photon Trajectories in a System of Two Twisted Slits.**

W. Dultz, E. Frins\*, B. Hils, H. Schmitzer\*\*

Univ. Frankfurt; \* Univ. de la Republica Montevideo; \*\* Xavier Univ. Cincinnati  
requalivahanus@t-online.de

The unbeloved pilot wave theory of D.Bohm claims to be able to determine trajectories of quantum particles from the Schrödinger equation and the gradient - or fall-line - of an Eikonal ansatz as a solution. We try to apply this theory to the solution of a Huygens elementary wave theory we have explored previously [DGaO Proceedings] and find that it leads to the classical particle (photon) paths of a momentum conservation model and the geodesics on the surface of stationary phase of the system, but fails, if we apply it to the surface of the stationary phase after integration over „all paths“ itself.

P2 **Investigating Diffractive Optical Elements for Plasmonic Lithography Applications**

P. Abhari, S. Sinzinger

Fachgebiet Technische Optik, Fakultät für Maschinenbau, Technische Universität Ilmenau  
parisa.abhari@tu-ilmenau.de

Diffractive optical elements (DOEs) are widely used for shaping light by modulating its phase, intensity, and polarization. This work focuses on designing and simulating DOEs to explore their potential in generating light distributions suitable for plasmonic lithography, a promising technique for high-resolution patterning. As part of this study, different DOE design strategies will be analyzed to understand how they can be tailored to meet the requirements of plasmonic lens excitation. This investigation is intended as a foundational step toward developing the skills and insights needed for future research in DOE design and its integration with advanced optical systems. While the primary goal is to gain a deeper understanding of the design process, the work also aims to highlight the versatility of DOEs in enabling novel optical applications.



P3 **Micro-optics based back focal plane imaging system**  
C. Jimenez

Institut für Technische Optik | Universität Stuttgart  
jimenez@ito.uni-stuttgart.de

This work presents a novel back focal plane imaging system leveraging micro-optics technology. By integrating miniaturized optical components such as microlenses into a compact and robust design, the system provides the potential of enabling a high-resolution back focal plane-imaging scheme with enhanced sensitivity and reduced system complexity. The proposed approach eliminates the need for bulky and expensive conventional optical components, leading to its potential applicability in spaces with limited spatial access and for applications that require extreme conditions.

P4 **Nachhaltige Beleuchtung: Theorie und Praxis**  
O. Ghozzi, J. Unterhinninghofen

Hochschule Koblenz  
unterhinninghofen@hs-koblenz.de

Zur Zeit werden sowohl im öffentlichen Raum (Straßenbeleuchtung) und in öffentlichen Einrichtungen (Schulen) als auch in privatwirtschaftlich und privat genutzten Bereichen Beleuchtungsanlagen auf LED-Technik, oft kombiniert mit intelligenter Steuerung, umgerüstet. Davon verspricht man sich nicht nur eine bessere Beleuchtung, sondern auch eine nachhaltigere: durch hohe Lichtausbeuten und verbesserte Lichtlenkung soll der Energiebedarf der Beleuchtungsanlagen gesenkt werden.

In der lichtplanerischen Praxis zeigt sich jedoch: die Möglichkeiten werden gar nicht ausgenutzt, oft aus Kostengründen. Dem steht eine aufwändige Umrüstung gegenüber, bei der teilweise Bestandssysteme entsorgt werden müssen. Ist eine solche Umrüstung wirklich nachhaltig oder handelt es sich um „greenwashing“?

Diese Frage untersuchen wir anhand eines Beleuchtungsprojekts (öffentliches Gebäude) und vergleichen drei Varianten: eine unter lichttechnischen Aspekten optimierte Planung, eine, die der Realität solcher budgetbegrenzter Projekte entspricht, und eine, die auf Retrofits setzt. Wir vergleichen lichttechnische Ergebnisse, Energiekosten und den Aufwand durch Neuproduktion und Entsorgung.



P5

### **Novel X-ray optics developed within the AHEAD2020 project**

R. Hudec\* \*\*, V. Stieglitz\*, T. Döhring\*\*\*, P. Friedrich\*\*\*\*, V. Burwitz\*\*\*\*

\* Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University in Prague, CZ

\*\* Astronomical Institute, Czech Academy of Sciences, Ondřejov, CZ

\*\*\* Technische Hochschule Aschaffenburg, D-63743 Aschaffenburg

\*\*\*\* Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, D-85748 Garching

hudec@fel.cvut.cz

We present a summary of our contribution to the EU Horizon 2020 project AHEAD2020, with emphasis on the X-ray optics work package. The Czech Technical University – together with other collaborating institutes - studied innovative Lobster Eye (LE) and Kirkpatrick-Baez (KB) X-ray modules, based on the Multi Foil Optics technology (MFO). In addition, two major events were organized, namely a students workshop in December 2023 and a summer school in May 2024. The KB optics represents a promising and cost effective alternative to the currently used Wolter I telescopes. The LE X-ray optics, based on the Schmidt design, has a wide field of view (FOV) with a short focal length, making it suitable for CubeSat application. Thereby the 2D LE optics consist of two orthogonal sub-modules of flat smooth reflecting foils, each sub-modules focuses in one direction. The advantage of such optics is that it preserves the angular resolution throughout the FOV even for off-axis points, as demonstrated by simulations and measurements. There was a collaboration with Aschaffenburg University in design, development, and testing of the double LE module HORUS, comparing different reflecting coatings.

P6

### **Strahlungsmessungen beim Erstflug des Stratosphärenballon-Experiments ASTRABAX**

T. Döhring, J. Pregler, L. Krivanekova, G. Hildenbrand

Fakultät Ingenieurwissenschaften, Technische Hochschule Aschaffenburg, D-63743 Aschaffenburg

thorsten.doehring@th-ab.de

Mit dem Aschaffener Stratosphären-Ballon-Experiment („ASTRABAX“) werden Experimente zu Material- und Biowissenschaften unter extremer Strahlungsexposition in großer Höhe durchgeführt. Der erste von drei geplanten Ballonflügen startete Mitte Oktober 2024 im norddeutschen Bad Pyrmont und erreichte eine Flughöhe von fast 35 km. Der Schwerpunkt der physikalischen Experimente lag auf der Vermessung des UV-C-Spektralbereichs mit einem Miniatur-UV-VIS-Spektrometer und der Strahlungsdosimetrie mit einem Geigerzähler. In einem zweiten Satz von Experimenten wurde die Wirkung der Bestrahlung auf Polydopaminproben untersucht, welche derzeit für Beschichtungen von astronomischen Röntgenspiegel entwickelt werden. Die Ballongondel enthielt auch Proben biologischer Zellen, die hier gleichzeitig einer niedrig dosierten Strahlung von hochenergetischen Partikeln, Gammastrahlen und UV-Strahlung ausgesetzt wurden. Experimente unter solchen natürlichen stratosphärischen Bedingungen sind für atmosphärische Höhenflüge, bemannte Raumfahrtmissionen, vergleichbare Expositionen bei anderen Objekten des Sonnensystems und die strahlenbiologische Forschung von Bedeutung.



**P7 Delta-d – Komparator für den 28-Si Gitterparameter**

J. W. A. Frese, B. Andreas

Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB, Braunschweig  
josef.frese@ptb.de

Wie alle SI-Einheiten soll das Kilogramm über Naturkonstanten rückführbar sein. Zur Umsetzung wurde zunächst die Avogadro-Konstante u. a. anhand des Gitterparameters von reinem 28-Si bestimmt. Dieser wurde mit einem Röntgeninterferometer am INRIM gemessen.

Zur Validierung wird an der PTB ein kombiniertes optisches Röntgeninterferometer, Abs-d, gebaut. Ein Röntgenstrahl wird mit 28-Si-Lamellen geteilt, gespiegelt und innerhalb des Materials überlagert. Die Phase des Interferenzmusters korreliert mit dem Netzebenenabstand im Kristall. Die Absolutmessung erfolgt über ein optisches Interferometer. Die Komplexität beschränkt das Verfahren jedoch auf eine einzige Probe.

Mit Delta-d soll daher ein Komparator realisiert werden, der mit kleineren Proben und größeren Messbereichen eine robuste Statistik liefern kann. Statt optischer Interferometrie wird ein makroskopisches Moiré-Muster erzeugt und ausgewertet. Jede Testlamelle erzeugt eine vom Gitterparameter abhängige räumliche Schwebung. Durch Vergleichen einer Testlamelle mit dem Abs-d-Analysator kann deren Gitterparameter ebenfalls bestimmt werden.

**P8 Messung der Topografie einer 30 mm Siliziumkugel mit dem Kugelinterferometer**

E. Kuhn, A. Nicolaus

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)  
eva.kuhn@ptb.de

Für die Realisierung des Kilogramms nach der XRCD (X-ray crystal density) Methode, die auf der Charakterisierung von Siliziumkugeln basiert, wurden zwei Kugelinterferometer entwickelt, die eine präzise Bestimmung des Kugelvolumens mit einer relativen Unsicherheit von 1E-8 ermöglichen. Diese Siliziumkugeln wurden für die Darstellung des Kilogramms aus hochreinem Silizium-Einkristall gefertigt und haben einen Durchmesser von 93 mm.

Für den Einsatz in anderen Messapparaturen, wie Koordinatenmessgeräten (KMGs), sind jedoch Siliziumkugeln mit kleineren Durchmessern von Interesse. Solche Kugeln könnten als Referenzstandards dienen und erfordern eine präzise Bestimmung der Topografie. Aus diesem Grund wurde ein spezieller Adapter entwickelt, der es ermöglicht, Kugeln mit einem Durchmesser von 30 mm mit höchster Genauigkeit zu vermessen. Mit diesem neuen Adapter konnte erstmalig die Topografie einer kleinen Siliziumkugel (gefertigt von der Firma Hauser) mit einer Unsicherheit von weniger als 3 nm erfasst und die Ergebnisse mit taktilen Messungen verglichen werden.





P9 **Current activities towards traceable form measurements of aspheres with a tilted-wave interferometer**

I. Fortmeier\*, G. Scholz\*, M. Stavridis\*\*, M. Marschall\*\*

\* Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Bundesallee 100, 38116 Braunschweig;

\*\* Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Abbestraße 2-12, 10587 Berlin

ines.fortmeier@ptb.de

Aspheres enable high-quality optical systems with less lenses while maintaining or even improving imaging quality. A reason for this is that they have more degrees of freedom compared to spherical surfaces. Therefore, imaging errors can easily be compensated for. This is why such complex lenses are becoming increasingly popular. However, their potential can only be utilised if the production quality is high, which is currently still limited by form measuring metrology. At the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), the National Metrology Institute of Germany, a traceable reference measurement setup based on tilted-wave interferometry is currently under development. Tilted-wave interferometry is a promising but challenging measurement technique. Since the measurement principle combines special interferometric measurements with model-based evaluation principles, it is a prime example of modern optical metrology: No measurement result is possible without comprehensive modelling of the entire system. Traceable measurement results with sufficiently low uncertainty are a major challenge. This contribution presents current activities at PTB to tackle this task.

P10 **Pre-Development Positional Metrology for Exposed Photoresist Patterns Using a High-Sensitivity Focus Sensor Integrated with a Nanopositioning System**

X. Zou, T. Kissinger

Institute of Process Measurement and Sensor Technology, Ilmenau University of Technology

xinchang.zou@tu-ilmenau.de

This study investigates a positional metrology technique for detecting exposed photoresist patterns using a focus sensor. General applications of latent metrology include process optimization, defect detection, and pattern alignment in micro- and nanofabrication. This work could be used in the alignment to previously exposed resist pattern written on different machines/technologies in Mix-and-Match lithography applications.

The core of the technique is based on the differential Foucault knife-edge principle. Here it is shown that the differential focus sensor signal exhibits an enhanced sensitivity compared to the sum signal, which is considered to be comparable to a regular confocal sensor. To showcase its sensitivity, the measurements are also compared to offline latent methods such as Differential Interference Contrast (DIC) microscopy and Scanning Electron Microscopy (SEM). The system demonstrates robust performance across various resist types, thicknesses, and scanning parameters. This work highlights the synergy between the focus sensor and the nanopositioning machine, showing a practical route to real-time in-situ pattern registration in pre-developed resist metrology.



P11 **Anwendungen der Frequenzverschobenen und Phasenmodulierten Digitalen Holografie**  
F. Dötzer\*, M. Mannagottera\*, S. Sinzinger\*

\* Fachgebiet Technische Optik, Technische Universität Ilmenau  
florian.doetzer@tu-ilmenau.de

Die digitale Holografie erlaubt die Aufnahme schneller Bildfolgen und damit die Untersuchung dynamischer Vorgänge sowie die detailliertere Untersuchung stationärer Prozesse. Durch eine Frequenzverschiebung des Referenzarms können z.B. heterodyne Verfahren realisiert werden. Die Auswertung der resultierenden Schwebung erzielt durch schmalbandige Filterung ein hohes Signal-Rausch-Verhältnis, analog zu einem Lock-in-Verstärker. Durch die Frequenzverschiebung können außerdem Frequenzkomponenten adressiert werden, die durch Schwingungen des Objekts entstehen. Dies erlaubt die Charakterisierung zugrundeliegender Schwingungen, deren Frequenzen Größenordnungen über der Bildrate des Detektors liegen. Zusätzlich kann der Referenzarm gezielt phasenmoduliert werden. Diese künstliche Schwingung bildet eine statische Interferenz oder Schwebung mit der Objektschwingung aus und eröffnet weitere Möglichkeiten der Signalauswertung. Mithilfe der Modulationstechniken wurden Schwingungsphänomene mit Auslenkungen im pm-Bereich und Frequenzen bis in den oberen MHz-Bereich untersucht. Wir stellen konkrete Anwendungsfälle wie akustische Oberflächenwellen und MEMS sowie die dafür eingesetzten Methoden vor.

P12 **Automatisierte Detektion von Wolframwendeln zur Entnahme aus Petrischalen**  
U. Birk\* \*\*, R. Mattle\*, L. Ospelt\*, C. Zimmermann\*

\* Institut für Photonics und Robotics, Fachhochschule Graubünden, Schweiz;  
\*\* Institut für Physik, Universität Mainz  
udo.birk@fhgr.ch

In der Fertigung der Inficon AG soll der Prozess, mit welchem Wolframwendeln aus Petrischalen entnommen werden, weiter automatisiert werden. Um die Effizienz und Präzision zu steigern, wurde unter Verwendung von Machine Vision ein automatisiertes System entwickelt, das auf Machine Vision basiert. Dieses System zielt darauf ab, die Position und Lage der Wolframwendeln in den Petrischalen präzise zu detektieren, um einen Roboterarm für die Entnahme zu steuern.

Die entwickelte Bildverarbeitungsroutine identifiziert zunächst die Petrischale im Bild und lokalisiert anschließend einzelne Wolframwendeln als separate Konturen. Durch die Analyse dieser Konturen werden ideale Greifpositionen und -richtungen in der Nähe der Wendelenden berechnet. Anschließend werden die extrahierten Bildkoordinaten in reale Weltkoordinaten transformiert, um dem Roboterarm die notwendigen Informationen für den Greifprozess in Form von Koordinaten und Winkeln zu übermitteln.

Die Automatisierung der Wendelentnahme verspricht eine deutliche Reduzierung der Durchlaufzeiten und eine Minimierung von Beschädigungen oder Fehlhandhabung der empfindlichen Wolframwendeln.



**P13 Methoden und Beispiele zur Profilvermessung von ein- und beidseitigen Freiformen verschiedener Art mit dem Ultrahigh Accurate 3-D Profilometer UA3P**

K. Uemura, R. Windemuth

Panasonic Connect Europe GmbH  
Reinhard.Windemuth@eu.panasonic.com

Der Vortrag beschreibt die spezifischen Messverfahren der UA3P Plattform und eine Übersicht der verschiedenen Maschinen Modelle. Messergebnisse können mithilfe der PIZA Software auch nachträglich am PC Arbeitsplatz vielfältig ausgewertet, verfeinert und auf verschiedenste Weise dargestellt werden, um die Weiterverarbeitung im Produktionsablauf zu vereinfachen.

Beispiele von Messanwendungen werden skizziert. Die Messung von Freiformflächen wird anhand von Beispielen erläutert. Die Messung der inneren Zentrierung optischer Linsen wird vom Konzept her erklärt und dargestellt. Es wird auf die verschiedenen Möglichkeiten der Dateneingabe für Freiformen eingegangen und Lösungen werden dargestellt.

Das Vorgehen bei Multi-Lens-Arrays (MLA) und diffraktiven optischen Elementen wird an Beispielen erklärt. Insbesondere werden Tendenzen, Trends und systematische Formfehler über die gesamte Array Anordnung eines MLA hinweg an Beispielen sichtbar gemacht. Es wird beschrieben wie Ergebnisse von Freiformflächen systematisiert werden. In diesem Fall wird aufgezeigt, wie die Daten einer asphärischen diffraktiven Optik in asphärische und diffraktive Anteile zerlegt werden können.

**P14 Towards Automated Spectroscopy: Leveraging a Robotic Arm for Enhanced Spectroscopic Measurements**

L. Fiedler, I. Howard, F. Braig

Carl Zeiss AG  
leo.fiedler@zeiss.com

Developing systems that enable the rapid spectroscopic examination of objects with complex topologies over a large fraction of their surface area is a challenge with relevance for industrial control processes, as well as environmental exploration. For example, recent work by Hanson et al. developed a Stewart platform to enable measurement at the surface normal across an object after gross positioning with a robotic arm.

In this contribution, we demonstrate how a 6DOF robot arm with an RGBD camera and spectrometer attached to the actuator can also identify the relevant topology of an object and make surface normal measurements at relevant points. We consider how these points can be identified and tracked to allow reproducible measurements despite variation in the positioning of the object.



P15 **Potentials and challenges of integrated optical deformation sensors with TIR prism rods**  
U. Wüllner\*, M. Falkner\*, Z. Dai\*, P. Xia\*, T. Biermann\* \*\*, R. Lachmayer\* \*\*

\* Institute of Product Development, Leibniz University Hannover, 30823 Garbsen, Germany;

\*\* Cluster of Excellence PhoenixD, Leibniz University Hannover, 30167 Hannover, Germany

wuellner@ipeg.uni-hannover.de

Consistent monitoring of components is necessary both for operation and for „gentelligent“ development over product generations. This requires digital twins reflecting reality, which enable the in-situ monitoring of components. For highly stressed shafts, this monitoring is limited. Reasons are a lack of installation space and indirect measurements using near-surface or external sensors.

New integrated sensor concepts are therefore required to enable the development of intelligent and „gentelligent“ components. This can be realized, for example, with an integrable TIR prism rod sensor, which consists of light source, prism and detector. The coupled light beam is totally reflected at the lateral faces of the prism rod in such a way that it propagates virtually helically through it. Torsion and bending change this beam path and the coupling-out projection.

Due to the integrability of the sensor, there is no need for additional installation space, environmental independence and the capability to measure the parameters directly at the neutral axis. For this, challenges such as the accuracy of the prism rod, energy and data transmission and optimized evaluation must be overcome.





- P16 **Robust Design for 3D-Printed Optomechanical Systems**  
P. Xia\*, S. Teves\*\*\*, T. Biermann\*\*, M. Falkner\*, U. Wüllner\*, J. Trapp\*\*\*, R. Lachmayer\* \*\*

\* Institute of Product Development and equipment Construction, Leibniz University Hannover  
\*\* Cluster of Excellence PhoenixD (Photonics, Optics and Engineering - Innovation Across Disciplines)  
\*\*\* Institute of Applied Optics (ITO), University of Stuttgart  
Xia@ipeg.uni-hannover.de

In recent years, significant research has been conducted on the development of 3D-printed optical components, mounts, and housings, demonstrating their potential in optical applications. This paper emphasizes the importance of integrating robust design principles into the development of 3D-printed optomechanical systems. By addressing key challenges such as print quality, process stability, and the high sensitivity of optical systems, we aim to identify systematic solutions that enhance the reliability and performance of printed optomechanical components.

- P17 **Zentrierfehler, Polierfehler und ‚slope error‘ bei der Fertigung von Asphären vermeiden durch optimiertes Blocken auf Dorn.**  
E. Hofbauer

HOFBAUER OPTIK Mess- & Prüftechnik, München  
e.hofbauer@hofbauer-optik.de

Die Herstellung von Präzisionsasphären ist relativ zeitaufwändig und ein komplexer Prozess, bei dem mehrere Prozessschritte durchlaufen werden müssen. Aus diesem Grund weisen Asphären mehr Fehlereinflussfaktoren mit deutlich größeren Toleranzen für Form- und Zentrierabweichungen auf. Typische Fehler beim Einsatz von Asphären in der Praxis und die gängigen Probleme bei der Herstellung auf Fertigungsdornen werden gezeigt.

Die Dezentrierung einer asphärischen Fläche kann gleichzeitig seitliche Verschiebung und Neigung bzw. Verkippung bedeuten. Daher müssen asphärisch Halb fertigteile (Halbzeuge) während des Schleif- und Polierprozesses bestimmten Zentrierregeln unterworfen und optimiert auf den Fertigungsspindeln eingesetzt (geblockt) werden. Wir zeigen eine erste mögliche Lösung, indem das Halbzeug optisch angetastet und mit Hilfe eines Manipulators optimal auf dem HD-Dorn ausgerichtet wird, so dass die Innere Zentrierung gewährleistet ist und auch Oberflächen-Formfehler minimiert oder ausgeschlossen werden. Erste Versuche und Ergebnisse aus der Praxis werden vorgestellt und diskutiert.



**P18 Implementierung der Auswertalgorithmen für ein neuartiges mikroskopisches Verfahren zur Bestimmung bidirektionaler Größen aus Fokusserienmessungen**

S. Dopsloff\*, J. Krüger\*, P. Manley\*\*, B. Bodermann\*, P. Schneider\*\*, D. Bergmann\*, R. Köning\*, C. Eder\*\*\*, A. Heinrich\*\*\*, M. Hammerschmidt\*\*\*\*, L. Zschiedrich\*\*\*\*, E. Manske\*\*\*\*\*

\* Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig; \*\* JCMwave GmbH, 14050 Berlin; \*\*\* Hochschule Aalen, 73430 Aalen; \*\*\*\* Zuse Institut Berlin und JCMwave GmbH, 14195 Berlin; \*\*\*\*\* TU Ilmenau, 98693 Ilmenau  
sven.dopsloff@ptb.de

Im Rahmen eines BMBF-Projektes wurde ein neuartiges, mikroskopisches Verfahren zur verbesserten Messung bidirektionaler Größen wie z. B. Strukturbreiten von Einzellinien entwickelt. Dieses basiert auf der Messung von Fokusserien und deren Auswertung mittels der Bays'schen Zielvektor-Optimierung. Hier wird das Residuum zwischen Mess- und Simulationsergebnis durch Variieren der Parameter für Struktur und optischer Aberration reduziert. Dabei werden aus den afokalen Bildern zusätzliche Strukturinformation gewonnen, um die gegenwärtige Messunsicherheit bei mikroskopisch bidirektionalen Messungen zu verringern. Die präzise Modellierung der Beleuchtung, der Struktur, der Abbildung sowie die Simulation der Messung und die Optimierung wird mit Hilfe der Software JCMSuite durchgeführt. Diese wendet die Finite-Elemente-Methode an. In diesem Beitrag wird die Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche für die Messauswertung vorgestellt. Erste Ergebnisse und deren metrologische Einordnung werden hier präsentiert. Die Oberfläche des Programms basiert auf der des in der PTB entwickelten Programms Rigo zur Messauswertung mittels rigoroser Verfahren und soll dieses langfristig ersetzen.

**P19 Reale und virtuelle Geometrieanalyse von 2PP-Polymer-Mikronadeln zur Arzneimittelverabreichung**

C. Wittemann, S. Burkert, C. Karapatzakis, A. Heinrich

Hochschule Aalen - Aalen School of Applied Photonics  
cordelia.wittemann@hs-aalen.de

Zweiphotonen-Polymerisations-3D-Druck (2PP-3D-Druck) ist ein additives Fertigungsverfahren zur Herstellung von Mikro- und Nanostrukturen, wie z.B. Mikronadeln. Diese dienen z.B. als nicht-invasive, schmerzfreie Werkzeuge zur Wirkstoffabgabe in die Haut, wobei die mechanische Stabilität entscheidend für eine effektive Anwendung ist. In dieser Studie werden 1 mm hohe Nadelgeometrien in einem uniaxialen Kompressionstest auf ihre Stabilität untersucht. Die auf eine einzelne Nadel ausgeübte Kraft wird kontinuierlich auf 3 N erhöht und die Deformation der Nadel untersucht. Durch eine Finite-Element-Analyse in COMSOL wird die kritische Last, bei der die Nadelspitze zu knicken beginnt, in einer nichtlinearen Stabilitätsanalyse simuliert. Dazu wird das viskoelastische Polymer der Nadeln vorab charakterisiert. Die Ergebnisse zeigen, dass das massive Nadeldesign mit 50 % Plateau eine überlegene mechanische Stabilität und geringere Deformationen bei höheren Kräften aufweist. Tunnel- und Hohlkonstruktionen zeigen ein vergleichbares mechanisches Verhalten. Diese Studie bekräftigt die Leistungsfähigkeit des 2PP-Drucks in der Prototypen- und Masterfertigung für eine spätere Replizierung.



P20 **Kratzerheilung mit CO<sub>2</sub>-Laser auf Quarzglas für die Reparatur von optischen Komponenten**

S. Walder\*, S. Lämmer\*, H. Cattaneo\*, S. Henkel\*\*, D. Knoche\*\*, C. Schulze\*\*,  
M. Güpner\*\*, S. Frank\*\*, S. Koch\*\*, J. Bliedtner\*\*, O. Föhnle\*\*\*

\* OST – Ostschweizer Fachhochschulen, Institut für Mikrotechnik und Photonik, Buchs SG, Schweiz;

\*\* EAH – Ernst-Abbe-Hochschule, Fachbereich SciTech, Jena, Deutschland;

\*\*\* PanDao GmbH, St. Gallen, Schweiz

simon.walder@ost.ch

Zur Vermeidung von geringfügigen Schäden an Linsen, die die Toleranzgrenzen für Kratzer und Löcher überschreiten, wurde eine experimentelle Studie zur Reparatur von mechanischen Kratzern auf einer Quarzglasoberfläche durchgeführt. Die Kratzer wurden mit einer Diamantspitze erzeugt und anschließend mit einem CO<sub>2</sub>-Laser repariert. Dabei wurden verschiedene Belastungen der Diamantspitze und der Laserleistung getestet. Die Transmissionsveränderungen und die Schäden unter der Oberfläche sind analysiert worden. Die Analyse der Oberflächenqualität erfolgte mit einem Weißlichtinterferometer, während die Analyse der Schäden unter der Oberfläche durch optische Kohärenztomographie durchgeführt wurde. Lokale Absorptionsunterschiede ließen sich mithilfe der photothermischen Ablenkung quantifizieren. Mit dem Ziel, die lokale Transmission deutlich zu erhöhen, konnten sowohl spröde als auch duktile Kratzer unterschiedlicher Tiefe erfolgreich geheilt werden.



P21

**SLM-basierte Intra-cavity-Strahlformung eines Titan-Saphir-Ringlasers**

M. Mannagottera, N. Lukin, S. Sinzinger

Fachgebiet Technische Optik, Technische Universität Ilmenau  
marie.mannagottera@tu-ilmenau.de

Die Integration strahlformender optischer Bauelemente, wie z.B. räumlicher Lichtmodulatoren (Spatial Light Modulators, SLM), in Laserresonatoren ermöglicht eine effizientere Strahlformung mit verbessertem Signal-Rausch-Verhältnis. In dieser Untersuchung vergleichen wir die Auswirkungen der resonatorinternen (intra-cavity) mit der externen Strahlformung unter Verwendung eines Titan-Saphir-Kristalls als aktives Medium. Der Einsatz von SLMs innerhalb des Resonators erlaubt die gezielte Kontrolle räumlicher Moden, die Optimierung der Strahlqualität sowie die gezielte Wellenlängenkontrolle. Wir präsentieren hier das Design und den experimentellen Aufbau eines Resonators, mit dem Ziel der Demonstration und der systematischen Untersuchung der Leistungsfähigkeit interner Laserstrahlformung.





P22 **Signal analysis for optical rotation measurements using a differential polarimeter**  
M. Schake

Physikalisch-Technische Bundesanstalt,  
Bundesallee 100, 38116 Braunschweig  
markus.schake@ptb.de

The Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig, offers a calibration service for the optical rotation (OR) of Quartz glass plates. Such Quartz plates are used as calibration standards in the sugar industry, since the optical rotation of light passing a solution of water and sugar shows a characteristic dependency of the sugar concentration. The calibration setup at PTB was established in the 1980s and will soon be replaced by a modernized measurement setup. This contribution will elaborate on the established measurement method based on differential polarimetry and discuss possible adaptations of the setup and its signal analysis, which have become available due to technical advancements.

P23 **Optik-Simulation für die Energiewende am Beispiel eines industriellen Infrarot-Heizofens**  
M. Kroneberger\*, E. Stanik\*\*, T. Döhring\*\*\*

\* digitX GbR, Bruckmühl;  
\*\* Technologietransferzentrum für nachhaltige Energien, Technischen Hochschule Aschaffenburg;  
\*\*\* Fakultät Ingenieurwissenschaften, Technische Hochschule Aschaffenburg  
monika.kroneberger@digitx.de

Im Rahmen der Energiewende sollen fossile Brennstoffe auch im Heizofen einer industriellen Pulverlackbeschichtung ersetzt werden. In der Stahlindustrie ist die Infrarottrocknung von ebenen Stahlband-Oberflächen ein bereits seit Jahren bewährtes Verfahren. Pulverlack-Beschichtungen werden jedoch oft auf komplexe Geometrien aufgetragen, bei denen eine Verschattung die Effizienz der Infrarot-Aushärtung mindert. Die Anordnung der Infrarotstrahler in der reflektierenden Heizkammer, deren Geometrie und die Verweilzeit der Bauteile sind daher die Schlüssel für erfolgreiche Prozesse. Zur Verfahrensoptimierung müssen zudem die optischen Parameter der Pulverlacke während des Prozesses bekannt sein, um die nötige Strahlungsleistung an Bauteile und unterschiedliche Lacke anpassen zu können. Messungen in der NAPUBEST-Prototypanlage werden daher mit optischen Simulationen des Aufbaus abgeglichen, um die Simulationsparameter an die Messergebnisse anzupassen und damit die Grundlage für die Auslegung von industriellen Prozessen zu gewährleisten. Hierbei wird Infrarotstrahlung mehrerer Wellenlängen berücksichtigt, um in unterschiedlichen Ofenzonen benötigte Aufheiz- und Haltephasen zu verwirklichen.



P24

### **Infrared heating for a sustainable powder coating technology**

E. Stanik \*\*, T. Döhring \*, P. Rees \*\*\*, M. Kroneberger \*\*\*\*, M. Stanik \*\*\*\*\*

\* Technische Hochschule Aschaffenburg, D-63743 Aschaffenburg;

\*\* NETZ Technologietransferzentrum für nachhaltige Energien, D-63755 Alzenau;

\*\*\* National Facility for Ultra Precision Surfaces, Wrexham Glyndwr University, UK;

\*\*\*\* digitX GbR, D-83052 Bruckmühl; \*\*\*\*\* Metallbau Nick GmbH, Lampertheim

eva.stanik@th-ab.de

The recent energy crisis revealed the dependence of many manufacturing companies on fossil fuels. Industrial processes need to be transformed into sustainable alternatives. For powder coatings, which traditionally rely on gas or oil heating systems, infrared radiation can deliver the required process heat. The strong dependence of the IR absorption on the geometry of the irradiated parts as well as on the color and sort of the coating powder has to be considered before the implementation of this innovative heating. The aim of the NAPUBEST project (German abbreviation for „Nachhaltige Pulverbeschichtungs-Technologie“ which means „Sustainable Powder Coating Technology“) is to get a better understanding of these correlations. In our laboratory, we realized a prototype of an IR oven for test measurements. The high reflectivity of silver-coated reflector sheets facilitates the concentration of infrared radiation inside the oven. On the other hand, the absorption of powder-coated samples in different paint colors has an impact on the heating efficiency. First tests of the equipment and measurements of the angle dependence of the reflectivity of various coated samples are presented.

P25

### **Adaptiver Schichtabtrag poröser Materialproben unter Verwendung multiskaliger Topographiedaten**

J. Stegmann, L. Hinz, E. Reithmeier

Institut für Mess- und Regelungstechnik, Leibniz Universität Hannover

johannes.stegmann@imr.uni-hannover.de

Im Rahmen der Erforschung neuartiger funktionalisierter Hochleistungsmaterialien durch gezielte Einbringung von Porositäts- und Materialgradierungen ist die volumetrisch-dimensionelle Rekonstruktion und Charakterisierung der Materialstruktur von wesentlicher Bedeutung. Hierfür wird durch schichtweisen Materialabtrag und anschließende multiskalige Topographieakquisition eine detaillierte Analyse der Materialstruktur und -komposition ermöglicht. Da konventionelle mechanische Bearbeitungsverfahren die empfindlichen Strukturen poröser Materialien beschädigen, stellt der Materialabtrag von gradierten Proben eine Herausforderung dar.

Im Rahmen dieses Beitrags wird eine Methode vorgestellt, welche einen Faserlaser zur Bearbeitung der Proben verwendet. Basierend auf den Topografiedaten des aktuellen Schnitts wird eine Datenverarbeitungspipeline aufgebaut, welche die zu bearbeitenden Bereiche der Probe definiert. Um eine unzulässige Schädigung der Probe zu vermeiden, werden die Laserparameter auf Basis der dimensionellen Messdaten lokal angepasst, um Vollmaterial, Randbereiche und dünne Stege gleichmäßig zu bearbeiten und materialgradierte Porenbereiche auszusparen.



P26

# **Weiterentwicklung und neue Anwendungen der Ellipso-Höhentopometrie EHT**

K. Leonhardt, K. Frenner\*, S. Reichelt\*

\* Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart  
klaus.e.leonhardt@t-online.de

Die Ellipso-Höhentopometrie EHT misst sowohl die Oberflächenerhebungen rauer und strukturierter Oberflächen  $H(x,y)$  als auch mit hoher Ortsauflösung die lokalen ellipsometrischen Parameter  $PSI(x,y)$  und  $DELTA(x,y)$  auf demselben Messpunkteraster und aus denselben Messdatensätzen. Sie sind somit gegenseitig zugeordnet und verrechenbar.

Anhand von Oberflächen mit neuen Materialaufbauten werden erste Ergebnisse der analytischen Inversion des Überschichtungssystems und der Implementierung anderer weiterführender Auswertemethoden zur Domänensegmentierung gezeigt. Die gemessene Höhentopografie bisher schwierig zu erfassender Oberflächen wird durch Materialkarten, Schichtdickenprofile und der Darstellung des gesamten Tiefenaufbaues mit hoher Orts- und Tiefenauflösung ergänzt.

P27

# **Untersuchung der Reaktion eines Dielektrikums auf elektrische Felder für die Herstellung von freiförmigen Mikrolinsen**

S. Burkert, M. Dohmen, A. Heinrich

Aalen School of Applied Photonics, Hochschule Aalen  
selina.burkert@hs-aalen.de

Eine Reduktion optischer Aberrationen von Mikrolinsen lässt sich beispielsweise durch die Ausbildung von Freiformflächen erreichen. Derartige Mikrolinsen sind auch hilfreich, um spezifische Lichtverteilungen zu erzeugen oder effizient Licht in Fasern einzukoppeln. Eine Möglichkeit zur Realisierung von Mikrolinsen mit Freiformflächen bietet die Deformation von flüssigen Fotopolymertropfen im elektrischen Feld und das anschließende Aushärten der Mikrolinsen unter UV-Licht. Bei der elektrischen Verformung des flüssigen Polymertropfens ergibt sich die Linsenform aus der Verteilung des elektrischen Feldes und der Reaktion des flüssigen Dielektrikums darauf. Daher ist es notwendig, diese Reaktion des Dielektrikums sowohl experimentell als auch theoretisch zu untersuchen. In der präsentierten Arbeit stehen die Einflüsse auf die Reaktion des Dielektrikums, wie das Linsenvolumen, der Elektrodenabstand und die Intensität des elektrischen Feldes, im Fokus.



- P28 **Evaluation eines polymerbasierten spritzgegossenen Arrayed Waveguide Grating Demonstrators für den Einsatz in der optischen Kurzstreckenkommunikation**  
K. Strathmann, S. Smarzyk, M. Haupt

Jade Hochschule, Fachbereich Ingenieurwissenschaften, Wilhelmshaven  
katharina.strathmann@jade-hs.de

An der Jade Hochschule wird im Projekt „Opti-AWG 3D“ ein Wellenlängenmultiplexer für die optische Kurzstreckenkommunikation via optischer Polymerfaser zur Herstellung in Kunststoffspritzguss entwickelt. Mittels Wellenlängenmultiplexing werden mehrere Kanäle auf einer einzigen Faser übertragen und so die erreichbare Datenrate multiplikativ um die Anzahl der Kanäle erhöht. Während Wellenlängenmultiplexing in der optischen Langstreckenkommunikation via Glasfaser bestens etabliert und kommerziell verbreitet ist, sind in der Kurzstreckenkommunikation keine entsprechenden Bauteile verfügbar. Dies ist in den deutlich voneinander abweichenden optischen Eigenschaften von Glas und Polymeren begründet. Nicht nur die verwendete Wellenlänge, sondern auch die verwendeten Faserdurchmesser unterscheiden sich erheblich. Im Gegensatz zur Glasfaser wird die Polymerfaser dadurch ausschließlich multimodal betrieben. In der Folge ist eine komplette Neuauslegung des optischen Bauteils erforderlich. Nach Durchführung umfangreicher Simulationen erfolgt die Herstellung eines Demonstrators, dessen Funktion mit der Simulation verglichen wird. Diese Ergebnisse werden im Rahmen der Konferenz vorgestellt.

- P29 **Comparison of wave-optical and Monte Carlo light propagation simulations in scattering media**  
Ö. Atmaca, J. Zehfuß, C. Jimenez, M. Wende, J. Drozella, A. Toulouse, A. Herkommer

Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart  
oemer.atmaca@ito.uni-stuttgart.de

The different methods in diffuse optical imaging are promising tools for emerging diagnostic and therapeutic medical technologies. They are based on the optical properties of tissue and the proper modeling of light-tissue interaction. However, this modeling often relies on analytical solutions of impractical geometries or is limited by time-consuming simulations, especially in cases where wave-optical phenomena dominate.

In this study, the light propagation in 3D scattering media based on Maxwell's equations, the Wave Propagation Method, and Monte Carlo simulations are compared in terms of computational speed and agreement. The light distributions of laterally infinite slabs were calculated for an incident plane wave in the case of the wave-optical and a planar illumination for the Monte Carlo simulations. The energy densities calculated by the wave-optical methods were compared with the fluence rate calculated by the Monte Carlo simulations for different concentrations of spherical scattering particles in the slab.





**P30 Einsatz von Flüssiglinsen für medizinische Objektive**  
V. Gäbler, Y. Erbuga

JENOPTIK Optical Systems GmbH  
Volker.Gaebler@jenoptik.com

Es wurde die Verwendung von Flüssiglinsen für den Einsatz in medizinischen Objektiven, insbesondere für die Anwendung in Endoskop-Adaptoren untersucht. Flüssiglinsen können hier die optische Funktion der Fokussierung oder auch des Zooms übernehmen. Im Rahmen der Untersuchungen wurde an einem Testaufbau die optische Qualität bewertet, die Geschwindigkeit der Ansteuerung der optischen Stärke gemessen und eine Analyse des statischen und dynamischen Bewegungsverhaltens erstellt. Zudem werden thermische Aspekte und ein Ausblick auf die Autoklavierbarkeit der Linsen vorgestellt.

**P31 Integrating Multi-Measuring-Point Fluorescence Detector for Droplet Microfluidics**  
R. H. Klenk\*, M. Heymann\*\*, W. Vogel\*, G. Rademacher\*

\* Institut für elektrische und optische Nachrichtentechnik, Universität Stuttgart;  
\*\* Institut für Biomaterialien und biomolekulare Systeme, Universität Stuttgart  
rouven.klenk@int.uni-stuttgart.de

Microfluidic analysis of biological samples in emulsion droplets has revolutionized high-throughput assays, including single-cell transcriptomics. Optofluidic integration and miniaturization position optical fibers close to a microfluidic channel, which carries the droplet reaction compartments. In this configuration, one optical fiber excites a fluorescence reporter in the droplet, and another detects the fluorescence emission. In principle, multiple fluorescence wavelengths can be interrogated simultaneously, but the device can analyze each droplet only once per run. We implement multiple measuring points in series to multiplex the droplet assay and also allow for quantifying reaction turnover in each droplet over time. Device masters are prototyped via two-photon lithography and replica mold microfluidic devices via soft lithography. The master includes a fluidic channel and channels for the fibers. The facets of the fibers face perpendicular to the fluidic channel. We characterized the robustness of the system and the sensitivity of each measurement point. In future work, we will pursue on-chip integration towards optofluidic integrated devices for multiplexed droplet analysis.



P32 **Real-time Nanoscale Temperature Sensing During Femtosecond Laser Patterning of Protein-Based Bioink**

A. Zeynali\*, M. Heymann\*, G. Chirico\*\*

\* Institute of Biomaterials and Biomolecular Systems, Uni Stuttgart;

\*\* Faculty of Physics, Uni Milano-Bicocca

amirbahador.zeynali@bio.uni-stuttgart.de

Femtosecond lasers enable microstructure fabrication for biomedical use, but their thermal impact on living systems must be assessed. This study investigates nanoscale photothermal effects during femtosecond direct laser writing (fsDLW) in a protein-based photoresist using nano-thermometry. NaYF<sub>4</sub>:Yb<sup>3+</sup>/Er<sup>3+</sup> luminescent nanoparticles served as temperature sensors, tracking heat variations under different laser parameters. Writing was performed at 755 nm, with temperature monitored via a 976 nm laser. Results show scan speed, laser power, and photosensitizer concentration (methylene blue) strongly affect heating. Faster scans reduced thermal buildup, while higher laser power increased temperature spikes. At 20  $\mu\text{m/s}$ , heating remained at  $\Delta T \approx 11\text{ }^{\circ}\text{C}$  in a sub-femtoliter focal volume, supporting safe fsDLW for biological applications. These insights help optimize femtosecond laser settings for precise, biocompatible microfabrication and enable real-time thermal monitoring for safer laser-based bioprinting.

P33 **Raman Spectroscopy and Optical Tweezers for Precise Analysis and Assessment of Health Risks from Micro- and Nanoplastics**

R. Johow

Institut für Produktentwicklung und Gerätebau

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

johow@ipeg.uni-hannover.de

Microplastics pose a severe environmental problem, capable of crossing biological barriers such as the blood-brain barrier and potentially causing significant health risks. Raman spectroscopy, enhanced by the use of optical tweezers and hydrodynamic focusing, effectively identifies and quantifies micro- and nanoplastic particles under 1  $\mu\text{m}$ . This method utilizes specialized microfluidic systems for precise manipulation and examination. Advances in measurement techniques enhance the accuracy of detection and signal integrity, providing a reliable basis for assessing health impacts. The precise positioning of particles through optical tweezers and control via hydrodynamic focusing allows for refined spectral analysis, crucial for understanding material composition and potential toxicity. This supports a well-founded analysis of the interactions of nanoplastics with biological systems and aids in the development of preventive measures.



P34 **Fluoreszenzlebenszeitmessungen in einem Lichtschicht-Fluoreszenz-Mikroskop**  
M. Hofmann\*, Z. Zhang\*, C. Liu\*, K. Lemke\*\*, R. Römer\*\*, S. Sinzinger\*

\* Fachgebiet Technische Optik, Technische Universität Ilmenau

\*\* Institut für Bioprozess- und Analysenmesstechnik e.V. Heiligenstadt  
meike.hofmann@tu-ilmenau.de

Die Lichtschicht-Fluoreszenz-Mikroskopie (LSFM) ist eine leistungsstarke Methode zur 3D-Charakterisierung fluoreszierender Proben. Neben der schichtweisen Messung der Fluoreszenzintensität kann mit Hilfe der Methode TCSPC (time correlated single photon counting) gleichzeitig auch die Fluoreszenzlebenszeit gemessen werden. Dies gibt Aufschluss über Prozesse in biologischen Proben. Bei dem Verfahren werden die Ankunftszeit und der Auftreffort einzelner Fluoreszenz-Photonen auf einem Detektor ermittelt, wodurch es bei der Messung sehr vieler Photonen bedarf, um eine gute statistische Auswertung zu gewährleisten.

Wir zeigen erste Ergebnisse für Lebenszeit-Messungen bei Beleuchtung von Proben mit einer Lichtschicht. Wir untersuchen die Qualität der Lichtschicht bei Verwendung eines gepulsten Diodenlasers bei 375 nm Wellenlänge und vergleichen verschiedene Möglichkeiten der Strahlformung. Hierbei ermittelten wir verschiedene Parameter wie Messdauer, Laserleistung und Binning der Detektorfläche, um die optimalen Messbereiche für verschiedene Konfigurationen zu ermitteln.

P35 **Studierendenprojekt: Optisches Messsystem zur Optimierung des Lauftrainings von Athleten**

U. Birk, T. Leutenegger, K. Sulser, S. Hanke, L. Zweifel

Institut für Photonics und Robotics, Fachhochschule Graubünden  
udo.birk@fhgr.ch

Photonics-Studierenden der FH Graubünden haben ein einfaches und kostengünstiges Zeitmesssystem entwickelt, mit welchem der Turnverein BTV Schiers die Läufe von Athletinnen und Athleten analysieren kann. An Start und Ziel wird eine Reflexionslichtschranke installiert. Im Ziel kommt zusätzlich eine Kamera zum Einsatz. Für die Lichtschranken wird jeweils ein ESP32 eingesetzt werden, der den Unterbuch der Lichtschranke registriert und für die Kommunikation zwischen Start und Ziel zuständig ist. Die Verarbeitung der Daten und die Steuerung der Kamera übernimmt ein Raspberry Pi, der im Ziel zusätzlich zum ESP32 eingesetzt wird. Lichtschranken und Kamera wurden eingekauft, die restliche Hardware (Gehäuse, Elektronikprint) und die Software wurde von den Studierenden entwickelt. Das System hat eine Zeitauflösung von Zehntelsekunden, eine Reichweite von 80m und eine Autonomiezeit von mehr als 4 Stunden. Die Kamera in der Zieleinheit macht mehrere Fotos des Einlaufes und durch Auswahl der Bilder kann die Laufzeit angepasst werden (z.B. Auslösung mit Brust anstatt Hand). 300 Messungen werden auf dem integrierten Webserver abgespeichert und stehen zur Analyse und Download zur Verfügung.



P36

### **Integration eines elektronischen Laborbuchs in die Messplatzsteuerung**

H. Dierke

Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
hanno.dierke@ptb.de

Die Sicherung von Messdaten ist ein zentraler Bestandteil guter wissenschaftlicher Praxis. Verlässliche und nachvollziehbare Dokumentation stellt sicher, dass experimentelle Ergebnisse überprüfbar und reproduzierbar bleiben. Geeignete Werkzeuge und Prozesse sind erforderlich, um neben den eigentlichen Messergebnissen auch Metadaten bspw. zu den Umgebungsbedingungen und Messparametern zu speichern und langfristig verfügbar zu machen.

Durch die Einbindung eines elektronischen Laborbuchs (Electronic Laboratory Notebook, ELN) in die Steuerung eines Messplatzes kann die Qualität der Datensicherung und -dokumentation erheblich gesteigert werden. Ein elektronisches Laborbuch fördert die Nachvollziehbarkeit von Versuchsabläufen, indem Messparameter und Metadaten nahtlos miteinander verknüpft werden. An der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt wird dafür die ELN-Software eLabFTW eingesetzt. Der Beitrag beschreibt die automatische Erstellung von Laborbucheinträgen direkt aus dem Messprogramm am Beispiel des MTF-Messplatzes der PTB.

P37

### **Erzählungen als treibende Kraft in der Photonik-Ausbildung: Einblicke und Anwendungsbeispiele**

U. Birk\*, H. Birk\*\*, E. Birk\*\*\*

\* Institut für Photonics und Robotics, Fachhochschule Graubünden, Schweiz;  
\*\* Center for Curriculum and Teaching Development, Universität St. Gallen, Schweiz  
\*\*\* Faculty of Arts, University of Malta  
udo.birk@fhgr.ch

Die Ausbildung von Photonik-Fachkräften erfordert innovative Lehr- und Lernansätze, um Studierende auf die dynamische Arbeitswelt vorzubereiten. Dieser Beitrag präsentiert einen Ansatz, der auf den Prinzipien des narrativen Lernens basiert und Lehren und Lernen als ko-kreative Prozesse neu definiert.

Im Mittelpunkt steht die Umsetzung eines optischen Zeitnahmeverfahrens für Sportveranstaltungen im Rahmen eines studentischen Praktikums. Dieses Projekt dient als konkretes Beispiel für die narratologische Implementierung in den Naturwissenschaften. Dabei wird untersucht, wie Lehrende als Erzähler\*innen agieren und wie Studierende zu aktiven Gestaltern ihrer Lernnarrative werden können. Welche Rolle spielt die Zusammenarbeit mit Industriepartnern, und welche Kompetenzen werden gefördert?

Neben dem Photonik-Projekt werden Beispiele aus anderen Disziplinen vorgestellt, die die Skalierbarkeit des Ansatzes demonstrieren. Es wird gezeigt, dass das lehrende/lernende Erzählen transdisziplinär einsetzbar ist und Zukunftskompetenzen fördert. Aufgrund seiner Flexibilität weist dieser Ansatz ein hohes Transferpotenzial auf und kann als treibende Kraft für die curriculare Innovation dienen.





## Autorenverzeichnis

Name	Referat(e) auf Seite(n)
<b>A</b>	
Abhari, P.	104
Abdou Ahmed, M.	88, 92, 94
Aemisegger, V.	82
Alauddin, A.	36
Alder, F.	96
Andreas, B.	110
Apweiler, S.	40
Aslani, V.	76
Ataman, Ç.	26, 56
Atmaca, Ö.	134
<b>B</b>	
Baer, G. B.	46
Baghapour, S.	76
Bahlinger, V.	38
Bartelmei, A.	14
Bashir, D.	88
Baßler, J.	78
Bauer, D.	94
Belkner, J.	72
Belz, A.	74
Bergholz, M.	84
Bergmann, D.	122
Bergmann, R. B.	64, 98
Bertz, A.	10
Besserer, R.	96
Bich, J.	98
Bielke, A.	27, 29, 31, 62, 71, 73
Biermann, T.	26, 118, 120
Birk, E.	142
Birk, H.	142
Birk, U.	82, 114, 140, 142
Bischof, D.	96
Blankenbach, K.	34, 36
Bliedtner, J.	124
Bodermann, B.	102, 122
Boehm, U.	58
Bohn, G.	70
Boley, S.	94
Bolt, M.	52
Bonhoff, A.	54, 92
Borchers, N.	12
Böttger, D.	80
Braig, F.	116
Brehm, G.	5, 80, 90

Name	Referat(e) auf Seite(n)
Brenner, A.	56
Brucker, S.	38
Burgarth, V.	62
Burkert, S.	28, 122, 132
Burwitz, V.	108
Buser, M.	94
Buske, P.	54
<b>C</b>	
Calikoglu, A.	26
Carl, D.	10
Cattaneo, H.	124
Chamandani, S. A.	50
Cheng, X.	74
Chirico, G.	138
Civanlar, B.	36
<b>D</b>	
Dai, Z.	26, 118
Dannecker, B.	94
Dierke, H.	142
Diggelmann, Y.	82
Dohmen, M.	100, 132
Döhning, T.	108, 128, 130
Dopslaff, S.	122
Dörsam, J. H.	72
Doth, K.	42
Dötzer, F.	5, 60, 114
Drozella, J.	76, 134
Dultz, W.	104
<b>E</b>	
Eder, C.	122
Egel, A.	46
Eger, L.	34
Ehret, G.	62, 64
Eichler, M.	38
Eisert, P.	40
Engel, P.	54
Erbuga, Y.	136
Faber, C.	2, 44, 45, 47, 49
<b>F</b>	
Fähnle, O.	124
Falkner, M.	26, 118, 120
Falldorf, C.	64, 98
Fan, C.	72
Fend, F.	38
Feßer, P.	84

Name	Referat(e) auf Seite(n)	Name	Referat(e) auf Seite(n)
Fiedler, L.	116	Harth, A.	72
Fischer, A.	50	Hartung, J.	90
Flamm, D.	94	Haueisen, J.	34
Fortmeier, I.	64, 112	Haupt, M.	134
Foschum, F.	42	Heidler, N.	90
Frank, S.	124	Heinrich, A.	28, 100, 122, 132
Franke, C.	80	Heist, S.	80
Frasch, J.	90	Heizmann, M.	78
Freitag, C.	80	Hellstern, A.	28
Frenner, K.	132	Henkel, S.	124
Frese, J. W. A.	110	Herkommer, A.	28, 74, 76, 86, 134
Friedrich, P.	108	Hesker, M.	54
Frins, E.	104	Heyl, C. M.	72
Fröhlich, T.	72	Heymann, M.	28, 76, 136, 138
Fu, L.	100, 102	Hildenbrand, G.	108
Fuchs, C.	22	Hils, B.	104
<b>G</b>		Hilsmann, A.	40
Gäbler, V.	136	Hinz, L.	30, 48, 130
Gao, S.	102	Hirzel, K.	28
Gatto, A.	82	Höck, H.	94
Geissler, E.	34	Hofbauer, E.	50, 120
Gentsch, G. J.	80	Hofmann, M.	75, 77, 84, 140
Gerlich, M.	40	Hofmann, O.	92
Ghosh, O.	74	Holly, C.	54, 92
Ghozzi, O.	106	Horneber, C.	32
Gielinger, S.	70	Howard, I.	116
Giessen, H.	28	Hudec, R.	108
Glasenapp, C.	10, 12	<b>I</b>	
Graf, T.	88, 92, 94	Imiolczyk, C.	28
Greiner, H.	46	<b>J</b>	
Greiner, T.	40	Jahns, J.	16
Gross, H.	4, 18, 21, 23, 25, 66	Janzen, S.	40
Grossmann, D.	94	Jaurigue, L.	14
Grunewald, J.	76	Jedamzik, R.	22
Guo, M.	80	Jimenez, C.	106, 134
Güpner, M.	124	Johow, R.	138
<b>H</b>		<b>K</b>	
Hage, T.-H.	34	Kang, Y. H.	62
Haist, T.	12, 38, 56, 86	Karapatzakis, C.	28, 122
Hammerschmidt, M.	122	Karbe, P.	20
Han, S.	62	Kästner, M.	30
Handte, T.	84	Kaufmann, H.	22
Hänel, A.	36	Kaune, A.	48
Hanke, S.	140	Kelly, D.	12
Hartel, S.	4, 44	Kienle, A.	42

## Autorenverzeichnis

Name	Referat(e) auf Seite(n)
Kinast, J.	90
Kissel, A.	42
Kissinger, T.	86, 112
Kleemann, B.	84
Klenk, R. H.	136
Kneist, W.	40
Knoche, D.	124
Koch, S.	124
Kometer, R.	50
Köning, R.	122
Korey, M.	52
Körner, J.	22
Köthe, E.	98
Kraidenov, K.	16
Kray, S.	40
Krey, S.	22
Krieglsteiner, O.	88
Krivanekova, L.	108
Kroneberger, M.	128, 130
Krüger, J.	122
Kuhn, E.	110
Kühn, T.	28
Kupnik, M.	72
Kurth, R.	92
<b>L</b>	
Lachmayer, R.	26, 118, 120
Lämmner, S.	124
Langenbach, E.	68
Laux, P.	10
Lehmann, P.	70
Lemke, K.	140
Leonhardt, K.	132
Leutenegger, T.	140
Liebmman, M.	54
Liebrich, T.	88
Lin, S.	82
Lippmann, U.	48
Liu, C.	140
Lochbihler, H.	84
Loescher, A.	92, 94
Longato, P.	36
Löw, R.	74
Löwen, D.	38
Lüdge, K.	14

Name	Referat(e) auf Seite(n)
Lukin, N.	126
Lux, F.	26
<b>M</b>	
Manley, P.	122
Mannagottera, M.	60, 114, 126
Manske, E.	86, 122
Marckwardt, A.	38
Marschall, M.	112
Mattle, R.	114
Meinecke, T.	16
Mekle, D.	94
Mel, M.	82
Menold, T.	94
Merbold, H.	82
Metzker, A.	70
Michalowski, A.	94
Michel, B.	46
Michler, M.	96
Mitura, N.	64
Müller, A. F.	64
Müller, S.	82, 90
Muschaweck, J.	68
<b>N</b>	
Neumann, C.	100
Nicolaus, A.	110
Niehaves, C.	50
Nogowski, A.	42
Nolte, S.	94
Notni, G.	80
<b>O</b>	
Oberschmidt, D.	38
Onuseit, V.	94
Ortlepp, I.	72, 86
Osadare, A.	80
Ospelt, L.	114
<b>P</b>	
Paquay, S.	46
Pedrini, G.	10
Peter, A.	94
Petzold, U.	22
Pfau, T.	74
Plush, S.	76
Porwol, T.	90
Pott, P. P.	40

Name	Referat(e) auf Seite(n)
Pregler, J.	108
Pruß, C.	52, 61, 63, 65, 86, 88
<b>R</b>	
Rademacher, G.	136
Rajput, D.	16
Raju, G.	20
Rees, P.	130
Rehn, H.	19, 68, 99, 101, 103
Reichel, S.	34, 36
Reichelt, S.	4, 8, 10, 12, 38, 56, 86, 88, 91, 100, 102, 132
Reidenbach, H.-D.	36
Reiff, C.	92
Reithmeier, E.	48, 130
Risse, S.	5, 90
Rohner, A.	38
Römer, R.	140
Roth, M.	96
Rothermel, F.	42, 76
Ruchka, P.	28
Rüdinger, A.	38
Rühle, J.	86
Ruprecht, A.	22
<b>S</b>	
Saint-Georges, P.	46
Saß, N.	88
Savchenko, A.	86
Sawodny, O.	86
Schachtler, D.	88
Schake, M.	128
Schiebelbein, A.	10
Schiller, A.	10
Schmerbeck, C.	78
Schmid, A.	40
Schmitt-Manderbach, T.	10
Schmittner, C.	92
Schmitzer, H.	104
Schneider, P.	122
Schober, C.	52
Scholz, G.	64, 112
Schrödel, Y.	72
Schultheiss, V.	46
Schulze, C.	124

Name	Referat(e) auf Seite(n)
Schumacher, J.	14
Schuster, N.	24
Schuster, R.	72
Serbes, H.	70
Sheppard, C. J. R.	44
Shnirman, B.	74
Shobowale, P.	30
Siebert, E.	32
Siepmann, J.	46
Sinn, C.	36
Sinzing, S.	14, 16, 60, 84, 98, 104, 114, 126, 140
Smarzyk, S.	134
Soenneken, S.	72
Spiller, W.	16
Sprenger, J.	66
Staebler, A.	38
Stanik, E.	128, 130
Stanik, M.	130
Stark, A.	11, 13, 51, 53, 80
Stauß, B.	22
Stavridis, M.	112
Stegmann, J.	130
Stelter, A.	70
Stieglitz, V.	108
Stolitzka, D.	34
Strathmann, K.	134
Strüning, T.	96
Stute, F.	92
Sulser, K.	140
<b>T</b>	
Tausendfreund, A.	50
Tereschenko, S.	70
Teves, S.	26, 120
Thiemicke, F.	98
Toulouse, A.	28, 42, 74, 76, 93, 95, 97, 134
Trapp, J.	120
Treptow, K.	86, 88
Turelli Khusainova, A.	80
<b>U</b>	
Udovičić, L.	36
Uemura, K.	116
Ulitschka, M.	90

## Autorenverzeichnis

Name	Referat(e) auf Seite(n)
Ulmer, P.	34
Unterhinninghofen, J.	106
<b>V</b>	
Vahid, S. Afshar	76
Valverde-Sánchez, J.	54
Vincenzo, P. De	46
Vogel, W.	136
Vogl, U.	12
Vojtisek, P.	98
<b>W</b>	
Wagner, M.	52
Walder, S.	124
Walker, O.	76
Warren-Smith, S. C.	76
Wende, M.	28, 42, 74, 76, 134
Windemuth, R.	116
Wisotzky, E.	40
Wittermann, C.	28, 122
Wlner, U.	26, 118, 120
Wu, H.	86
Wüster, J.	84
Wyss, S.	102
<b>X</b>	
Xia, P.	26, 118, 120
<b>Z</b>	
Zehfuß, J.	134
Zeynali, A.	138
Zhang, D. W.	62
Zhang, W. Q.	76
Zhang, Z.	140
Zhuang, S. L.	62
Zier, M.	14
Zimmermann, C.	114
Zimmermann, M.	56
Zou, X.	112
Zschiedrich, L.	122
Zweifel, L.	140

Name	Referat(e) auf Seite(n)
------	----------------------------



# Mitteilungen der Tagungsgeschäftsführung

## 1. Tagungsort

Die **126. Jahrestagung** der DGaO wird vom 10. Juni bis 14. Juni 2025 an der Universität Stuttgart / Campus Vaihingen ausgerichtet. Tagungszentrum ist das Hörsaalzentrum ETI Pfaffenwaldring 47 in unmittelbarer Nähe der S-Bahn-Haltestelle „Universität“.

Die Begrüßungsveranstaltung findet im Foyer des IZ (Internationales Zentrum) der Universität Stuttgart statt. Beide Veranstaltungsorte liegen auf dem Campus Vaihingen und befinden sich nur wenige Gehminuten voneinander entfernt.

### **Tagungsbüro IZ Internationales Zentrum, Pfaffenwaldring 60 (nur Dienstag)**

Das Tagungsbüro IZ ist besetzt:                      Di:    14:00 – 18:00 Uhr

### **Tagungsbüro**

#### **Foyer Pfaffenwaldring 47**

Mi:    08:00 – 17:00 Uhr

Do:    08:00 – 13:30 Uhr

Fr:    08:00 – 17:00 Uhr

### **Tagungsort: Universität Stuttgart**

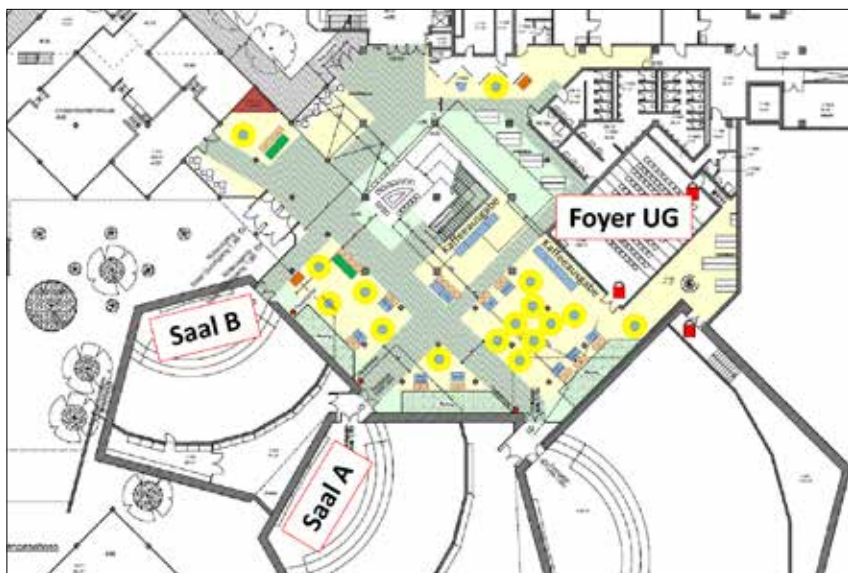
Pfaffenwaldring 47, 70569 Stuttgart



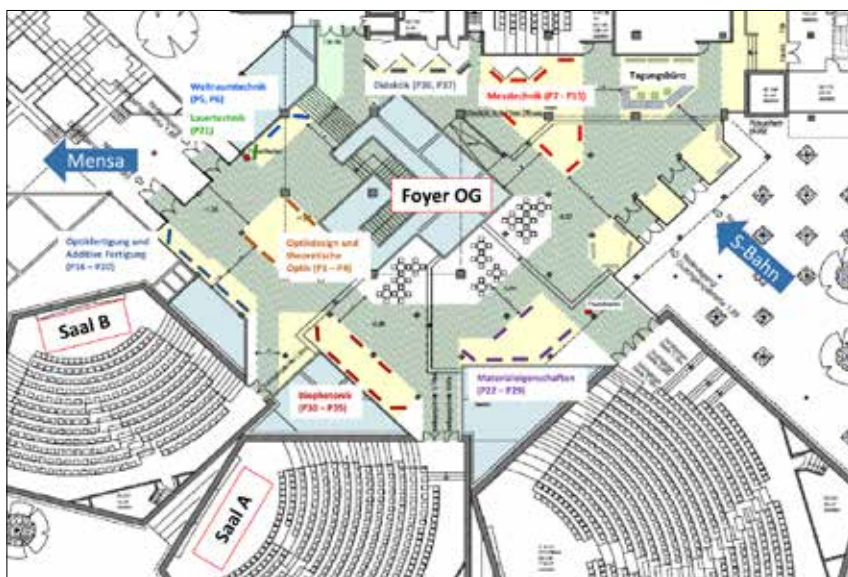
**Der Campus Vaihingen aus der Luft**

Foto: (c) Flight Photo Europe GmbH





**Raumplan UG**  
Quelle: Universität Stuttgart



**Raumplan OG**  
Quelle: Universität Stuttgart



### **Außenbereich**

Quelle: Universität Stuttgart/Uli Regenscheit



### **3 Hörsäle**

Quelle: Universität Stuttgart

**Begrüßungsort**  
**Internationales Zentrum (IZ) Universität Stuttgart**  
Pfaffenwaldring 60, 70569 Stuttgart, Deutschland



Quelle: Internationales Zentrum

Die DGaO Vorstandssitzung findet im Raum „HALLE“ am IZ (14:00 Uhr bis 16:00 Uhr) statt.

Die Registrierung findet ab 14:00 Uhr am IZ statt.

Falls Sie sich für den Begrüßungsnachmittag mit Führung angemeldet haben:  
Treffpunkt 14:30 Uhr am IZ.

Um 18:00 Uhr findet der Vortrag „Der neue Stuttgarter Hauptbahnhof – Neuland in Planung und Realisierung“ von Frau Angelika Schmid statt.

Wir lassen den Tag mit Fingerfood und Drinks ausklingen.

## Universität Stuttgart Campus Vaihingen

Konferenzort: Hörsaalzentrum ETI I, Pfaffenwaldring 47, 70569 Stuttgart

Begrüßungsabend: Internationales Zentrum (IZ), Pfaffenwaldring 60, 70569 Stuttgart



Karte: [openstreetmap.org/copyright](https://openstreetmap.org/copyright)

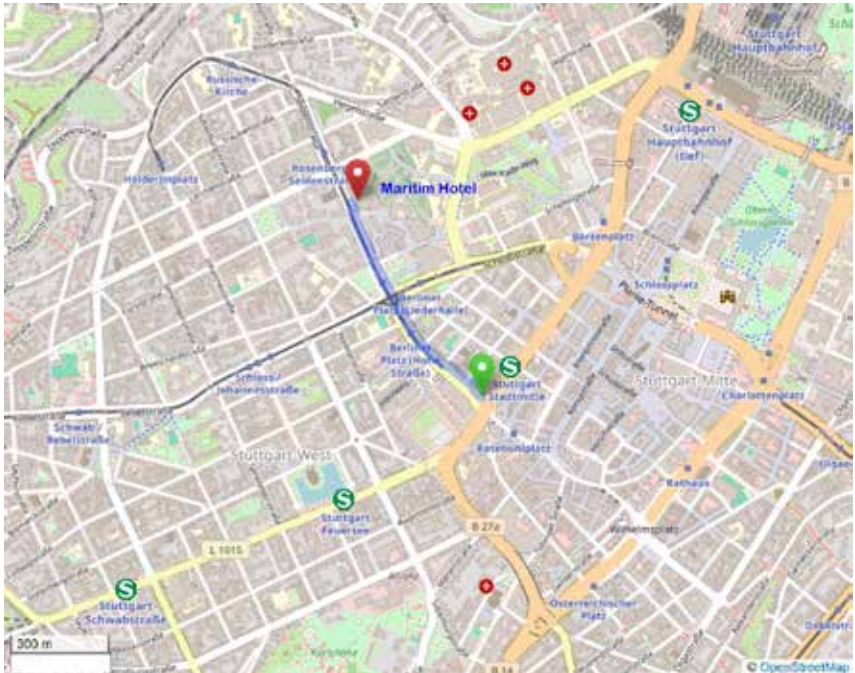


### Konferenzdinner Maritim Hotel Stuttgart

Adresse: Seidenstraße 34, 70174 Stuttgart

Anreise über **S-Bahn** ab Universität:

Alle S-Bahnlinien Richtung Hauptbahnhof bis **Haltestelle Stadtmittel**, ab da ca. 10 min Fußweg über die Fritz-Elsas-Straße in die Seidenstraße zum Hotel auf der rechten Seite.



## 2. Tagungsanmeldung

Wir bitten Sie, die Tagungsanmeldung bis zum 30.04.2025 ausschließlich über das Online-Formular auf der Internetseite [www.dgao.de](http://www.dgao.de) vorzunehmen. Sie erhalten anschließend eine Rechnung mit Angabe der Bankverbindung zur Überweisung der Tagungsgebühr (bzw. für Ihre zusätzlich hinzu gebuchten Kosten wie beispielsweise das Networking Event).

### Tagungsgebühren (zzgl. 7% MwSt)

Mitglieder der DGaO, DPG, EOS oder OPTICA:	€ 280,00*
Nichtmitglieder:	€ 350,00*
Studierende, Rentner:innen, Erwerbslose:	€ 150,00*
Rahmenprogramm/Networking: (kann auch für eine Begleitperson gebucht werden)	€ 60,00* p. P.
Fraunhofer Gala Dinner (Unkostenbeitrag) (kann für max. eine Begleitperson gebucht werden)	€ 20,00* p. P.

Bei Anmeldung nach dem 30.04.2025 wird ein Zuschlag von € 50,00\* erhoben.

\* Alle Preise verstehen sich als Nettopreise

Autor:innen, die studentische Mitglieder der DGaO sind, können durch Vorschlag des Institutsleiters gefördert werden. Der Förderbeitrag wird durch den Vorstand festgelegt.

### 3. Anreise zum Tagungsort

#### Anreise mit dem PKW

Verlassen Sie die Autobahn A8 (München-Karlsruhe) an der Abzweigung Stuttgart-Vaihingen in Richtung Stuttgart. Die zweite Ausfahrt Universität führt zum Universitätsgelände. Für Anreisen mit dem Auto bitte beachten: Das Stadtgebiet Stuttgart gilt als „Umweltzone“. Das heißt, dass jedes Fahrzeug eine grüne Umweltplakette benötigt, um in Stuttgart fahren und parken zu dürfen. Zudem gilt ein ganzjähriges Fahrverbot für alle Kraftfahrzeuge mit Dieselmotoren der Abgasnorm Euro 4/IV und schlechter. Weitere Informationen zum Diesel-Verkehrsverbot hat die Stadt Stuttgart für Sie zusammengestellt.

<https://www.stuttgart.de/leben/mobilitaet/dieselvekehrsverbot/dieselvekehrsverbot.php>

#### Anreise mit den öffentlichen Transportmitteln

Ab Haltestelle „Hauptbahnhof“, „Stadtmitte“ oder „Feuersee“ mit S-Bahn-Linie S1 (Herrenberg), S2 oder S3 (beide Flughafen) bis Haltestelle „Universität“ fahren.



Quelle: <https://www.s-bahn-stuttgart.de>

## 4. Hotелеmpfehlungen in Stuttgart

Zur vereinfachten Suche eines Hotels wurde eine Buchungsseite eingerichtet:

<https://www.stuttgart-tourist.de/dgao2025>

Neben der Online-Buchung kann gerne auch per E-Mail an:

[hotels@stuttgart-tourist.de](mailto:hotels@stuttgart-tourist.de)

direkt gebucht werden. Bitte geben Sie dazu das Kennworts DGaO an.

### » Hotel Römerhof

Stuttgart

Robert-Leicht-Straße 93

Telefon: 0711 687880

### » VCH Hotel Wartburg

Stuttgart

Lange Straße 49

Telefon: 0711 20450

### » Kulinarium an der Glems

Stuttgart

Mahdentalstraße 111

Telefon: 0711 687880

### » Hotel am Wilhelmsplatz

Stuttgart

Wilhelmsplatz 9

Telefon: 0711 210240

### » Hotel Flora

Stuttgart

Filderbahnstraße 43

Telefon: 0711 716080

### » EmiLu Design Hotel Stuttgart

Stuttgart

Nadlerstraße 4

Telefon: 0711 3420620

### » Hotel Gloria

Stuttgart

Sigmaringer Straße 59

Telefon: 0711 71850

### » B&B Hotel Stuttgart-Vaihingen

Vaihingen

Schockenriedstraße 33

Telefon: 0711 220950

### » Si-Suites

Stuttgart

Plieninger Straße 101 – 107

Telefon: 0711 727850

### » Pullman Stuttgart Fontana

Stuttgart Vaihingen

Vollmüllerstraße 5

Telefon: 0711 7300

### » Centro Hotel Sautter

Stuttgart

Johannesstraße 28

Telefon: 0711 61430

### » Waldhotel Stuttgart

Stuttgart

Guts-Muths-Weg 18

Telefon: 0711 185720

### » Ruby Hanna Hotel Stuttgart

Stuttgart

Sophienstraße 21

Telefon: 0711 99596600

### » Hotel Olgaec

Stuttgart

Olgastraße 39

Telefon: 0711 24859933

### » Maritim Hotel Stuttgart

Stuttgart

Seidenstraße 34

Telefon: 0711 9420

### » PLAZA INN Rieker Stuttgart Hbf.

Stuttgart

Friedrichstraße 3

Telefon: 0711 2296580



» **Hotel BaWü**  
Stuttgart  
Kriegerstraße 7  
Telefon: 0711 56616288

» **ARCOTEL Camino**  
Stuttgart  
Heilbronner Straße 21  
Telefon: 0711 258580

» **Jugendherberge Stuttgart**  
Stuttgart  
Haußmannstraße 27  
Telefon: 0711 47470

» **Essential by Dorint Stuttgart-Airport**  
Leinfelden-Echterdingen  
Heilbronner Straße 15 – 17  
Telefon: 0711 320640

» **Hotel „Zum Reussenstein“**  
Böblingen  
Kalkofenstraße 20  
Telefon: 07031 66000

» **CLOUD N°7 LOFTS**  
Stuttgart  
Strombergstraße 15  
Telefon: 0711 25286261

» **Hotel Berlin Sindelfingen**  
Sindelfingen  
Berliner Platz 1  
Telefon: 07031 8655

» **isis Styles Stuttgart Vaihingen**  
Stuttgart  
Ruppmannstraße 20  
Telefon: 0711 26898610

» **the niu Form**  
Stuttgart  
Leitzstraße 5  
Telefon: 0711 18420940

» **Erikson Hotel**  
Sindelfingen  
Hanns-Martin-Schleyer-Straße 8  
Telefon: 07031 9350

## 5. Kontakt

### Tagungsgeschäftsführer

Prof. Dr.-Ing. Stephan Reichelt  
Institut für Technische Optik  
Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 9 | D – 70569 Stuttgart  
E-Mail: [stephan.reichelt@ito.uni-stuttgart.de](mailto:stephan.reichelt@ito.uni-stuttgart.de)  
E-Mail: [tagung2025@dgao.de](mailto:tagung2025@dgao.de)

### Tagungsorganisation vor Ort

Christof Pruß  
Institut für Technische Optik  
Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 9 | D – 70569 Stuttgart  
E-Mail: [pruss@ito.uni-stuttgart.de](mailto:pruss@ito.uni-stuttgart.de)

### DGaO-Sekretariat

c/o Technische Universität Ilmenau  
Fachgebiet Technische Optik  
Postfach 100565  
98684 Ilmenau  
E-Mail: [dgao-sekretariat@dgao.de](mailto:dgao-sekretariat@dgao.de)

## 6. Vorträge

Für Vorträge steht in jedem Vortragsraum ein Beamer mit Laptop zur Verfügung. Die PDF- oder PowerPoint-Präsentationen sind per USB-Stick rechtzeitig in den Pausen auf die Laptops zu überspielen.

## 7. Posterausstellung

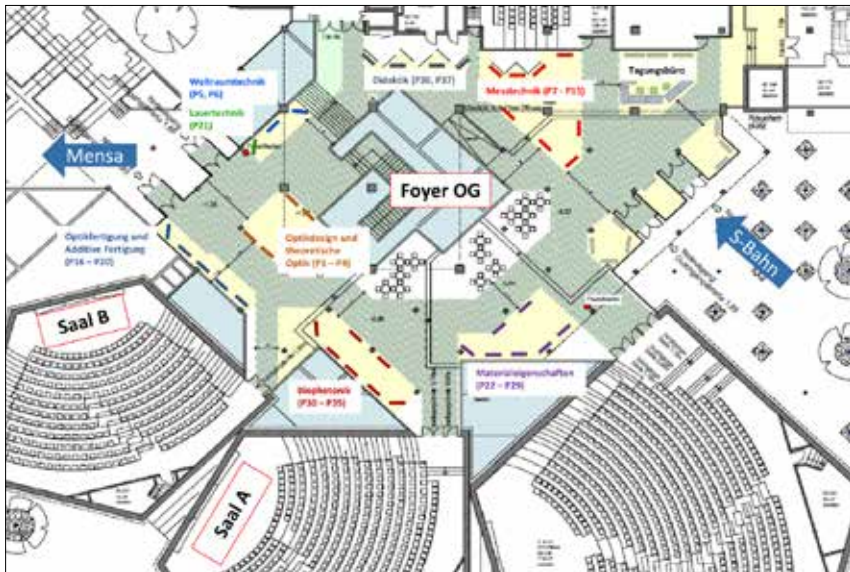
Die Posterausstellung findet am Mittwoch, dem 11. Juni 2025 ab 16:45 Uhr im Obergeschoss, Pfaffenwaldring 47 statt.

Die Autorinnen und Autoren werden gebeten, die Poster am **Mittwoch, 11.05.2025 zwischen 13 und 15 Uhr** zu befestigen und diese zur Ausstellungszeit **persönlich** zu präsentieren. Die besten Poster werden am 13. Juni 2025 im Rahmen des Konferenz-Dinners prämiert.

Die Poster können bis Freitag, 13. Juni an den Posterwänden verbleiben und wir bitten die Autorinnen und Autoren, die Poster am Freitag bis 16 Uhr abzunehmen.

Das **Format der Poster soll DIN-A1 nicht überschreiten:**

DIN-A1 = 59,4 cm breit und 84,1 cm hoch.



Lageplan der Posterausstellung

## 8. Industrieausstellung

In der Industrieausstellung präsentieren sich verschiedene Aussteller. Die Ausstellung findet im Foyer des Hanggeschosses (UG), Pfaffenwaldring 47 statt.

## 9. DGaO-Proceedings

Die Autor:innen haben die Möglichkeit, ihre Tagungsbeiträge in der Internetzeitschrift DGaO-Proceedings zu veröffentlichen. Die Beiträge werden als zweiseitige doppelspaltige Manuskripte oder auch als Poster veröffentlicht. Beiträge in den DGaO-Proceedings sind zitierfähig.

Die Frist für die Einreichung der Beiträge zur Jahrestagung 2025 für die DGaO-Proceedings endet am 31.07.2025. Weitere Hinweise sowie ein Template finden Sie in Kürze unter folgendem Link: [https://www.dgao-proceedings.de/home/home\\_d.php](https://www.dgao-proceedings.de/home/home_d.php).

## 10. DGaO Nachwuchspreis

Die DGaO verleiht auch im Jahr 2025 wieder den DGaO-Nachwuchspreis für die beste Dissertation und für die beste Masterarbeit des Jahres 2024 an einer Hochschule/Universität im deutschsprachigen Raum im Bereich der angewandten Optik. Weitere Hinweise finden Sie unter [www.dgao.de](http://www.dgao.de).

## 11. Rahmenprogramm der Tagung

### Dienstag, 10. Juni 2025

#### **Begrüßungsnachmittag am IZ (Internationales Zentrum)**

Teilnehmende der 126. DGaO-Jahrestagung 2025 sind zum Begrüßungsnachmittag im IZ eingeladen. Dieser findet am Dienstag, den 10. Juni 2025 ab 14 Uhr statt.

Ab 14 Uhr	Registrierung am Internationalen Zentrum
14:30 bis 17 Uhr	Institutsführungen auf dem Campus Vaihingen
18 Uhr	Vortrag „Der neue Stuttgarter Hauptbahnhof – Neuland in Planung und Realisierung“ Angelika Schmid (Werner Sobek AG)
ab 18:30 Uhr	Fingerfood und Drinks

### Mittwoch, 11. Juni 2025

ab 16:45 Uhr	Postersessions im Foyer, Pfaffenwaldring 47
--------------	---

## Donnerstag, 12. Juni 2025

- 14:30 Uhr      Abfahrt mit 3 Sight-Seeing Bussen ab Bushaltestelle  
„Universität (Schleife)“  
**Genussvolle Entdeckungstour: Stuttgart & Weinregion**
- 14:50 Uhr      Rundgang durch historisches Zentrum von Stuttgart  
(Altes Schloss, Schillerplatz, Neues Schloss)
- 15:30 Uhr      Abfahrt Karlsplatz; vorbei am Mercedes-Benz Museum zur  
Weintour: Busfahrt zur romantischen Grabkapelle auf dem  
Württemberg, Spaziergang durch Weinberge zum Weinbaumuseum  
nach Uhlbach (ca. 30 min) mit anschließender Weinprobe in der Alten  
Kelter, dann Busrückfahrt zum Ausklang ins
- 18:00 Uhr      Brauhaus Trollinger am Feuersee (inkl. 2 Freigetränke)  
Rotebühlstraße 50, 70178 Stuttgart

Teilnehmer:innen am Social Event mit eingeschränkter Beweglichkeit melden sich gerne  
bitte vor der Tagung im Sekretariat ([sekretariat@dgao.de](mailto:sekretariat@dgao.de)).  
Wir versuchen, eine Alternative zu Fußweg bzw. Stadtführung zu organisieren.



© Stuttgart-Marketing GmbH

## **Freitag, 13. Juni 2025**

18:00 Uhr	Begrüßung der Tagungsgäste durch die Präsidentin der DGaO – Hotel Maritim, Saal MARITIM
anschließend	Fraunhofer-Vortrag – Peter de Groot, Zygo, Middlefield, CT USA

*„Did I invent that? Reflections on creativity and innovation in optics – Peter de Groot“*

Displayed proudly in my home is a beautiful cross-sectional model of the Zygo Wide Field interference objective, gifted to me by my coworkers on the occasion of my formal retirement as Chief Scientist and Director of R&D. The objective attaches to a conventional microscope platform but has an exceptionally large, 60-mm field of view. Jim Biegen and I invented the design, which has been recognized by an SPIE Kingslake award and eight international patents. If you study the model, you will see that the key creative feature is two glass plates arranged coaxially with a small tilt between them, forming a compact, white-light interferometer. As pleased as we are with this new optical design, we sometimes wonder if it really is so unique and clever as to be called an „invention“.

In a letter from Isaac Newton to Robert Hooke in 1676, we find the famous phrase: „We stand on the shoulders of giants.“ Reflecting on my career, I see the wisdom of this profoundly simple statement. After many years working in applied research in optical metrology, I have been granted over 140 US patents on inventions ranging from ultra-precision sensors for stage positioning to laser radars for measuring the dimensions of airplane wings. At the same time, I am an avid student of the history of optics, and I often tell students that if they would like to become inventors themselves, they should start by reading the old books. Classical works such as Ernst Abbe's brilliant lectures on optical imaging and Adolf Lohman's insightful papers on the early days of holography are very much alive and relevant today. Many modern discoveries in optics have core concepts dating back decades or even centuries, modernized with new light sources and detectors, and adapted for applications that our predecessors could not possibly have anticipated in semiconductor manufacturing and quantum imaging.

These observations raise the intriguing question of what truly constitutes an invention. In this Fraunhofer lecture, I share a few stories from my career about optical instruments that I would claim are new, even though they are founded on established concepts. Topics are drawn from coherence scanning interferometry for mapping surface texture, laser Fizeau measurements of optical parts, heterodyne encoders for displacement measurement, interferometric micro-ellipsometry, and high-precision moiré. The goal is to stimulate thoughtful discussion about the role of innovation in advancing the state of the art, building on principles that have been gifted to us by generations of teachers and innovators that have come before us.

19:00 Uhr	Beginn des Festbanketts
21:00 Uhr	Prämierung der Poster
23:00 Uhr	Ende der Veranstaltung

## 12. Essensmöglichkeiten in der Umgebung

### Mensa

Auf dem Uni-Campus betreibt das Studierendenwerk mehrere Cafeterien und die Mensa. In der Mensa gibt es zur Mittagszeit eine Auswahl an verschiedenen Gerichten. Darunter gibt es auch vegetarische und vegane Varianten.



Die Mensa fotografiert von der FG Informatik

Der Frischemarkt Roth ist ein Supermarkt direkt auf dem Campus. Hier kann man Lebensmittel, Snacks oder das Feierabendbier kaufen. Er befindet sich unter der Mensa/Cafeteria.

### Mittags- und Abendangebot

#### » Ristorante Pizzeria - LA BRUSCHETTA

Pfaffenwaldring 62  
70569 Stuttgart (direkt hinter IZ)

#### » Griechisches Restaurant - TAVERNA ELIA

Pfaffenwaldring 62  
70569 Stuttgart (direkt hinter IZ)

### 13. Attraktionen in Stuttgart

#### **Mercedes-Benz Museum**

70372 Stuttgart

Mercedesstraße 100

[www.mercedes-benz.com](http://www.mercedes-benz.com)

Erleben Sie über 135 Jahre Automobilgeschichte im Mercedes-Benz Museum. Die Zeitreise beginnt in der neunten Etage und führt auf zwei Rundgängen durch 160 Fahrzeuge und über 1.500 Exponate auf 16.500 Quadratmetern. Daimler, der älteste Automobilhersteller der Welt, ist eng mit Stuttgart, der Geburtsstadt des Autos, verbunden



© Daimler AG

## **Zoologisch-botanischer Garten Wilhelma**

70376 Stuttgart

Wilhelma 13

[www.wilhelma.de](http://www.wilhelma.de)

Die Wilhelma Stuttgart ist Deutschlands einziger zoologisch-botanischer Garten. Hier leben rund 11.000 Tiere aus 1.200 Arten und etwa 8.500 Pflanzenarten. Die historische Anlage im maurischen Stil, angelegt ab 1842, vereint Zoo und Botanik in einzigartiger Weise. Besonders beeindruckend sind der größte Magnolienhain nördlich der Alpen und die riesigen Seerosen im Maurischen Garten.



Quelle: Wilhelma Stuttgart



## **Porsche Museum**

70435 Stuttgart

Porscheplatz

[www.porsche.de](http://www.porsche.de)

Das Porsche Museum in Stuttgart-Zuffenhausen ist ein architektonisches Highlight und zeigt auf 5.600 Quadratmetern über 80 Fahrzeuge und 200 Exponate zur Geschichte von Porsche. Neben berühmten Modellen wie dem 356, 911 und 917 sind auch technische Meisterwerke von Ferdinand Porsche ausgestellt. Das Museum, getragen von drei V-förmigen Säulen, besteht aus 6.000 Tonnen Stahl – mehr als im Eiffelturm. Eine Skulptur mit drei Porsche 911 ergänzt das beeindruckende Außenbild



© Porsche AG

## **Weissenhofmuseum im Haus Le Corbusier**

70191 Stuttgart

Rathenaustraße 1 - 3

[www.weissenhofmuseum.de](http://www.weissenhofmuseum.de)

### **UNESCO-Welterbe in der Weißenhofsiedlung**

1927 entstand die Weißenhofsiedlung in Stuttgart als Teil der Werkbund-Ausstellung „Die Wohnung“. In nur vier Monaten wurden 33 moderne Flachdachhäuser gebaut, um neue Wohnkonzepte zu erforschen. Ludwig Mies van der Rohe versammelte 17 führende Architekten der Moderne, darunter Le Corbusier, Walter Gropius und Hans Scharoun.



© Stuttgart-Marketing GmbH

Le Corbusier erregte besondere Aufmerksamkeit mit seinen zwei „Wohnmaschinen“. Im Doppelhaus, heute das Weißenhofmuseum, werden die Geschichte der Siedlung und der Originalzustand von 1927 präsentiert. Seit 2016 gehören diese Häuser zum UNESCO-Welterbe.

## **Schloss Solitude**

70197 Stuttgart

Solitude 1

[www.schloss-solitude.de](http://www.schloss-solitude.de)

Das Schloss Solitude in Stuttgart, die anspruchsvollste Schöpfung von Herzog Carl Eugen, bietet einen herrlichen Blick Richtung Norden und Ludwigsburg. Ab 1763 entstand hier ein Jagd- und Lustschloss mit weitläufigen Gärten, entworfen unter Hofbaumeister Philippe de la Guépière. Der Hauptbau diente repräsentativen Zwecken, während der Herzog die Nebengebäude bewohnte. Die Solitudeallee, eine 13 Kilometer lange Verbindung zum Residenzschloss Ludwigsburg, ist bis heute erhalten. Besonders beeindruckend ist der „Weiße Saal“ im Hauptbau. Von 1972-1983 wurde das Schloss umfassend renoviert. Im Schlossareal befand sich einst die Hohe Karlsschule, an der Friedrich Schiller studierte.



© Stuttgart-Marketing GmbH

## **SWR Fernsehturm Stuttgart**

70597 Stuttgart

Jahnstraße 120

[www.fernsehturm-stuttgart.de](http://www.fernsehturm-stuttgart.de)

Testen Sie Ihre Schwindelfreiheit! Der Stuttgarter Fernsehturm, 1956 eröffnet und 217 Meter hoch, ist das Ur-Modell für Fernsehtürme weltweit. Statt eines gewöhnlichen Gittermastes entwarf Ingenieur Prof. Fritz Leonhardt eine elegante Betonnadel mit Aussichtsplattform und Panoramacafé. Heute ist der Turm ein beliebtes Wahrzeichen Stuttgarts, mit Blick bis zur Schwäbischen Alb bei gutem Wetter.



© Stuttgart-Marketing GmbH

## 14. Touren in und um Stuttgart

- » **Wandern und Radfahren in und um Stuttgart**  
<https://www.komoot.com/de-de/guide/80/radtouren-rund-um-stuttgart>
- » **Stadtführungen durch Stuttgart**  
<https://www.stuttgart.de/tourismus/stadtrundfahrt/stadtfuehrungen.php>
- » **Stuttgarter Museen**  
<https://www.stuttgart.de/kultur/kulturelle-vielfalt/museen.php>
- » **Stuttgarter Thermen**  
<https://www.stuttgarterbaeder.de/thermen>
- » **Stuttgarter Fernsehturm**  
<https://www.fernsehturm-stuttgart.de/>

## 15. Bars und Kneipen in Stuttgart

- » **Jigger and Spoon**  
Gymnasiumstraße 33, 70174 Stuttgart  
<https://jiggerandspoon.de/>
- » **BIX Jazzclub & Lounge**  
Gustav-Siegel-Haus, Leonhardsplatz 28, 70182 Stuttgart  
<https://www.bix-stuttgart.de/>
- » **Schwarz Weiß Bar**  
Wilhelmstraße 8A, 70182 Stuttgart  
<https://www.schwarz-weiss-bar.de/de>
- » **Sky Beach**  
Königsstraße 6, 70173 Stuttgart  
<https://skybeach.de/>
- » **Sausalitos**  
Theodor-Heuss-Straße 10, 70173 Stuttgart  
<https://www.sausalitos.de/standorte/sausalitos-stuttgart-theodor-heuss>  
Marienstraße 3B, 70178 Stuttgart  
<https://www.sausalitos.de/standorte/sausalitos-stuttgart-marienstrasse>
- » **Mauritius**  
Börsenplatz 1, 70174 Stuttgart  
<https://www.my-mauritius.com/restaurants/stuttgart-mitte/>  
Tübinger Straße 26, 70178 Stuttgart  
<https://www.my-mauritius.com/restaurants/stuttgart-gerber/>
- » **Wirtshaus Troll**  
Hasenbergstraße 37B, 70176 Stuttgart  
<https://www.wirtshaus-troll.de/>
- » **Wirtshaus zum Hotzenplotz**  
Silberburgstraße 88, 70176 Stuttgart  
<https://zumhotzenplotz.de/>

## **Ordentliche Mitgliederversammlung der DGaO**

am Freitag, den 13. Juni 2025, 14:15 Uhr,  
Universität Stuttgart, Hörsaal V47.0  
Pfaffenwaldring 47, Saal A, 70569 Stuttgart

### **Tagesordnung:**

1. Eröffnung
2. Bericht des Vorstands
3. Änderungen im Mitgliederbestand
4. Kassenbericht des Schatzmeisters
5. Bericht der Kassenprüfer und Beschluss über Entlastung
6. Wahl des Präsidenten oder der Präsidentin und einer Beisitzerposition
7. Jahrestagungen der DGaO 2026 und folgende  
inkl. Wahl TGF 2026, Auswahl Themen und Programmkomitee
8. Wahl der Kassenprüfer für 2025
9. Berichte aus den Arbeitsgruppen
10. Verschiedenes

### **Bitte beachten:**

Anträge zur Tagesordnung müssen mindestens 4 Wochen vor der Mitgliederversammlung schriftlich oder per E-Mail beim Schriftführer eingereicht werden:

**Christof Pruß**  
**Universität Stuttgart**  
**Pfaffenwaldring 9**  
**70569 Stuttgart**  
**Mail: [pruss@ito.uni-stuttgart.de](mailto:pruss@ito.uni-stuttgart.de)**

**Termin für die Einreichung von Anträgen zur Tagesordnung:**

**16. Mai 2025**

## In eigener Sache

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

wir freuen uns darüber, dass unsere Gesellschaft mit viel Leben und positiver Energie erfüllt ist. Der beste Beweis ist das tolle Tagungsprogramm unserer diesjährigen Tagung in Stuttgart. Tausend Dank an Stephan Reichelt, Christof Pruß und das ganze Team des ITO für die viele Arbeit in Vorbereitung und Durchführung.

Lassen Sie uns alle zusammenarbeiten, diese tolle Atmosphäre und Dynamik in der DGaO zu erhalten und weiterzuentwickeln. Beste Gelegenheit dafür ist Ihre Teilnahme und Mitarbeit an der diesjährigen Mitgliederversammlung. Mit der anstehenden Wahl der neuen Präsidentin oder des neuen Präsidenten werden dort ja auch wichtige Weichen für die Zukunft der Gesellschaft gestellt. Dies und die ebenfalls neu zu besetzende Beisitzerposition bieten die Möglichkeit sich einzubringen, Verantwortung zu übernehmen und zu kandidieren. Melden Sie sich!

Weiterhin freuen wir uns immer über Ihre Rückmeldungen, Ideen, Anregungen und Initiativen, die dazu geeignet sind, das Leben in der Gesellschaft und die angewandte Optik zu befördern. Zu diesem Zweck wurden im Vorstand z.B. zu folgenden Aufgabenbereichen Arbeitsgruppen gegründet und werden von weiteren Mitgliedern getragen:

- Webseite und Proceedings
- Social Media
- Nachwuchspreis
- Außenpolitik (ICO, EOS, Optica, ...)
- Young DGaO

Nach dem Motto „viele Hände – schnelles Ende“ ist dort immer Ihre Unterstützung willkommen. Und da sprechen wir noch nicht von der Freude und dem Spaß, den es macht, gemeinsam die Dinge voranzubringen! Es wäre schön, wenn sich noch mehr Freiwillige finden, die bereit sind, sich in den Arbeitsgruppen einzubringen. Natürlich sind auch Ideen und Initiativen für weitere Arbeitsgruppen oder Themen herzlich willkommen. Sprechen Sie uns, d.h. alle Mitglieder Ihres Vorstandes, an!

Herzlich

Stefan Sinzinger  
Past President DGaO

# Forschung in Produktideen übersetzen.

Der Gesellschaft einen  
Mehrwert bieten.

## Forschung und Technologie bei ZEISS

Als Innovation Scout ist Sophia das Bindeglied zwischen Wissenschaft und Industrie. Am ZEISS Innovation Hub @ KIT verbindet sie Projekte aus beiden Welten und ermöglicht so, dass aus Austausch Innovation entsteht. Mit ihrer Forschung will sie die Gesellschaft von morgen gestalten – in Wachstumsfeldern der Zukunft, wie Digitalisierung, Gesundheit und Industrie 4.0. Das breite Portfolio bei ZEISS gibt ihr die Möglichkeit. Zwischen Augenoptik und Medizintechnik. Von der Mikroskopie über die industrielle Messtechnik bis zur Halbleiterfertigungstechnik. Das Forschen hinter dem Offensichtlichen geht immer weiter. Dafür sorgen Menschen wie Sophia. Die jeden Morgen Spaß daran haben, das Übermorgen zu gestalten.

Erfahre mehr über Jobs im Bereich Forschung & Technologie bei ZEISS:  
[zeiss.de/karriere](https://zeiss.de/karriere)







Seeing beyond





## OHARA® - Your Supplier for Optical Materials and Components

For more than 80 years OHARA has been recognized as a worldwide leading provider of optical and technical materials. OHARA's materials have been designed into many challenging optical and optoelectronic key technologies.

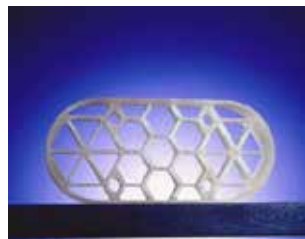
### Optical Glass

With over 140 glass types, OHARA offers a broad portfolio of leading edge materials which are used in binoculars, camera lenses, microscopes, measurement devices, and all other classical optical applications. Special glasses like high UV transmitting Y-types are used in microlithography or astronomical applications. Over 20 different L-types are adapted to the requirements of low process temperature in precision moulding. OHARA's optical glasses are available in strip form, and also as near lens shape mouldings for economical use in the polishing processes at our customer's production site.



### Glass-Ceramic

OHARA'S low-thermal-expansion glass ceramic CLEARCERAM-Z® offers superior properties including chemical resistance, dimensional stability, and machinability. Our material is specified when the highest performance is needed. For example, in reference elements for semiconductor production devices, as bodies for modern laser gyroscopes, or as mirror substrates for astronomical applications. OHARA supplies discs, and machined blanks, with diameters up to 2000mm.



### Fused Silica

OHARA produces high quality fused silica utilizing the VAD production method. Our SK-1300 Fused Silica series offers excellent homogeneity and internal quality. Our materials are widely used in visible, infrared and laser applications. For fiber production, OHARA supplies various types of fused silica in the forms of tubes and rods.



### Polished Wafer and Substrates

All OHARA materials are available in extremely thin double side polished substrates. Typical dimension ranges surface quality:

- diameter: 4 -12 inch
- thickness: 100 $\mu$ m  $\pm$ 10 $\mu$ m
- Ra>0.1 nm (available in square or round shapes - if requested, with SEMI orientation flat or notch and laser labelling of your specified serial number in barcode or clear writing formats)



### NANOCERAM®

OHARA's latest development is a clear glass-ceramic material with embedded nano crystals. To use as cover glass for automotive lense, camera lense, or all applications where high strengthness as a protecting glass is needed. Not as hard as sapphire, but due to the special characteristic of this outstanding material, cracks on the surface won't grow.

### Non-Browning Optical Glass

For optical elements used in high radiation environment, i.e. nuclear plant or space, OHARA offers non-browning optical glasses.

In the portfolio are five different glass-types in the range nd 1.51..1.61 and vd 36.3 .. 64.1 available.

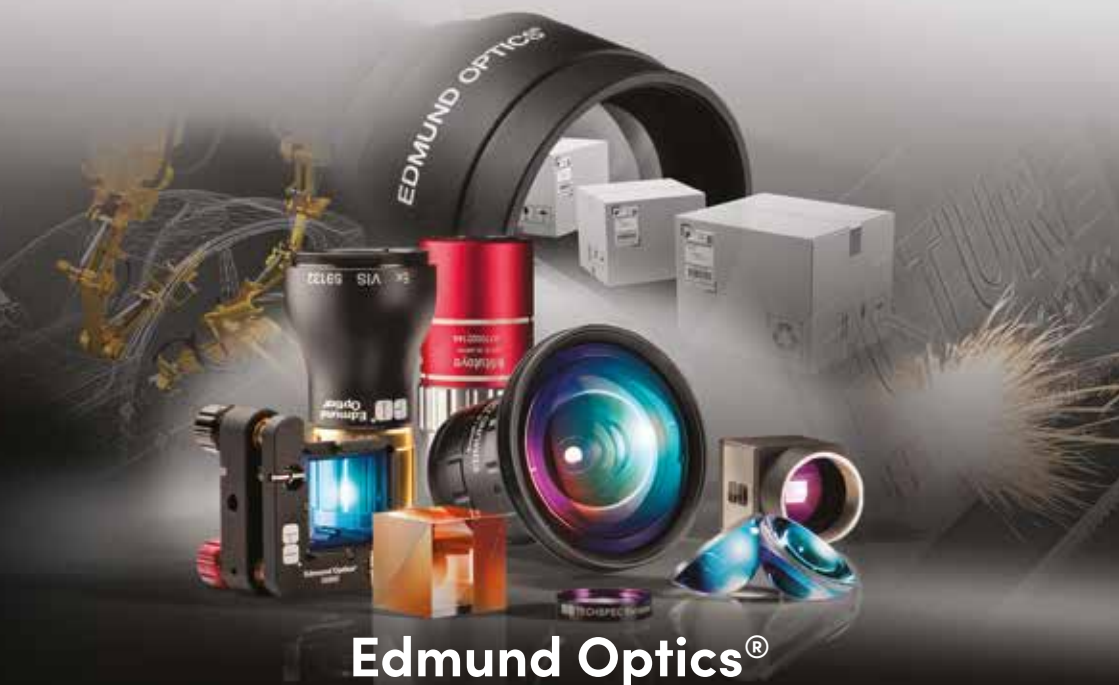
According to strategy and mission, OHARA aligns its continuous development of products according to the need of the international markets. Please contact OHARA with any kind of request.



**OHARA GmbH**  
Im Langgewann 4  
65719 Hofheim  
Germany

Phone: +49 6192 9650-50  
Fax: +49 6192 9650-51  
info@ohara-gmbh.com  
www.ohara-gmbh.com

# THE **FUTURE** DEPENDS ON OPTICS



## Edmund Optics®

Your One-Stop Shop for the Best Brands in Optics!

- Over 40 of the best brands in the industry
- Extensive inventory with over 34.000 products available & 2.900 new products
- New EU distribution hub for faster shipping and easier procurement
- 24/7 global product & application chat support - an industry first
- Bringing 80+ years of optical expertise to customers worldwide

Browse our extensive online shop today!

**[www.edmundoptics.eu](http://www.edmundoptics.eu)**

**eo**® **Edmund**  
optics | worldwide

FOLLOW US ON:



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

# THE FUTURE DEPENDS ON OPTICS



## Edmund Optics® Your University Partner

At Edmund Optics®, we recognize the vital role universities play in shaping the future of optics and photonics. That's why we offer preferential discounts and unique partnership opportunities tailored for educational institutions.

**At Edmund Optics®, we support universities with:**

- Preferential discounts on 34.000+ products & exclusive discounts for new labs
- Educational awards & other support programs
- Local engineering experts ready to visit your campus
- 24/7 Technical support – an industry first!

**Let's collaborate!  
Contact our team today.**

www.  
edmundoptics.eu/  
contact



**eo**® **Edmund**  
optics | worldwide

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

# CMO·SYS

G m b H

AUFGABE



Konzeptnachweis  
Laboraufbau  
Projektierung  
Umsetzung

LÖSUNG



CMO-SYS versteht sich als Dienstleister im Bereich Technologie für Produktion, Qualitätssicherung, Analyse und Forschung, wie auch als Lieferant für Gesamtlösungen. Wenn Sie ein agiles Team mit hoher technischer Kompetenz und Erfahrung sowie überaus breitem Erfahrungsspektrum suchen, sind Sie bei uns genau richtig!

[www.CMO-SYS.com](http://www.CMO-SYS.com)



**AGIL - schnelle Durchführung von Versuchen und Machbarkeiten bis zur Umsetzung. KOMPETENZ - Akademiker und Software-Entwickler mit langjähriger Erfahrung im Bereich der technischen Optik und Hochsprachenprogrammierung. SPEKTRUM - erfolgreich durchgeführte Projekte aus folgenden Bereichen:**

- 3D Datenaufnahmen und 3D Vermessung mittels DOF, Lidar, Lichtschnittverfahren, TOF und Weißlichtinterferometrie
- Hochauflösende Platten- und Bahninspektion bei hohen Geschwindigkeiten von mehreren Metern pro Sekunde
- Bildtransformation, z.B. Polartransformation von Innenmantelflächen, Außenmantelabwicklung
- Defekterkennung an Oberflächen mittels SfS, Deflektometrie und AI Klassifizierung von Metall, Kunststoff, Zylinder, Tieflochbohrungen etc.
- FPGA basierte Bildverarbeitung für extrem geringe Latenz im Bereich Druck und Sortierung oder Echtzeitberechnung
- F&E: CMO-SYS als Brücke zwischen Forschungseinrichtung und Endkunde bzw. Anwender
- Belt- und Binpicking mit bis zu 100 Picks pro Minute
- Industrielle Bildverarbeitung mit Halcon, Matrox MIL, OpenCV, pcl u.v.m.
- Materialanalyse und Materialklassifizierung mittels ICP-OES, LIBS, XRF, Dual-Energy XT
- Nachführung und Positionstracking mittels Perspective n-Point Algorithmen und Triangulation für Robotik, zerstörende Prüfverfahren, Crash-Test u.v.m.
- Fluoreszenzmessungen für markerbasierte Sortierung, Kontamination und Nachweis
- OCR / OCV und Mustererkennung unter schwierigen Randbedingungen
- Quantenoptik im Bereich Photonischer Kristalle
- Reaktive Mikroskopie und automatisierte DOF Aufnahme zur Nachführung von Probe oder Mikroskop
- Spektroskopie von THz, IR, VIS, UV bis XRF für Klassifizierung und Anomalie-Erkennung



**COGNIZE**



**MEASURE**



**OPERATE**



**SYSTEM**

**Wir finden Lösungen für  
ihre Probleme!  
Individuell. Professionell.  
Dauerhaft.**



**STORZ**  
KARL STORZ – ENDOSKOPE



**KARL STORZ macht den Unterschied –  
80 Jahre Medizintechnik der Extraklasse**



Mehr erfahren unter  
[www.karlstorz.com](http://www.karlstorz.com)

KSI 1.0 03/2025/AN-D



# SYNOPSYS®



The Synopsys Optical Solutions Group provides design tools that model all aspects of light propagation for high-accuracy optical product simulations and visualizations. With intelligent, easy-to-use solutions and an expert support team anchored by optical engineers, Synopsys helps organizations deliver superior optics to market faster.

## Main activities

Our software packages include CODE V® imaging design software, LightTools® illumination design software, LucidShape® products for automotive lighting, the RSoft™ products for photonic device and optical communications design, and the PIC Design Suite for photonic integrated circuit design, simulation, layout, and verification.

**Brand new:** ImSym – Imaging System Simulator, The Fastest and Most Accurate Path to Imaging Designs

## Services

- Optical Scattering Measurements - Hardware and Services
- The Synopsys Optical Solutions Group provides precision light scattering data for materials and media used in optical systems. Customers have the option to purchase equipment from Synopsys to measure their own optical samples and import custom data into Synopsys optical software tools for high-accuracy optical product simulations and visualizations. Learn more at:  
<https://www.synopsys.com/optical-solutions.html>
- Software support and software trainings
- Surface and volume scattering measurements (BRDF, BTDF, TIS)
- Refractive index measurements of polymers
- Optical developments as service provider

## Main areas of research and development

- Scattering measurement equipment (Synopsys REFLET180S, High Specular Measurement System, Synopsys Mini-Diff Systems, Synopsys TIS Pro)
- Measurements and optimization algorithm for volume scattering materials
- Software based on sequential, non-sequential Raytracing, Optimization and Optimization algorithms

## Special facilities

Synopsys REFLET Bench, Goniometer, High Specular Measurement System, Integrating Sphere with diameter up to 1.2m, Video Photometer.

**Brand new:** Synopsys TIS Pro for efficient measurements of reflectance, transmittance and absorption.

## Ansprechpartner:

**Rainer Födisch, Manager Optical Solution Sales**

Synopsys GmbH  
Karl-Hammerschmidt-Strasse 34  
85609 Aschheim/Dornach, Germany  
Email: [foedisch@synopsys.com](mailto:foedisch@synopsys.com)

Die Synopsys Optical Solutions Group bietet Optik-Design Software an, die für die Entwicklung hochpräziser optischer und lichttechnischer Systeme erforderlich sind. Mit intelligenten, benutzerfreundlichen Lösungen und einem expertengestützten Support-Team, das von Optikingenieuren geleitet wird, hilft Synopsys Unternehmen, komplexe optische Systeme zu entwickeln und diese schneller auf den Markt zu bringen.

## Arbeitsgebiete

Zu unseren Softwarepaketen gehören die CODE V® Imaging-Designsoftware, die LightTools® - Beleuchtungsdesignsoftware, LucidShape® -Produkte für die Automobilbeleuchtung, die RSoft™-Produkte für das Design photonischer Geräte und optischer Kommunikation sowie die PIC Design Suite für das Design, die Simulation, das Layout und die Verifizierung photonischer integrierter Schaltkreise.

**NEU:** ImSym – Imaging System Simulator, The Fastest and Most Accurate Path to Imaging Designs

## Leistungsangebot

- Optische Streumessungen - Hardware und Services
- Die Synopsys Optical Solutions Group liefert präzise Streulichtdaten für Materialien und Medien, die in optischen Systemen verwendet werden. Kunden haben die Möglichkeit, Geräte von Synopsys zu erwerben, um ihre eigenen optischen Proben zu vermessen und benutzerdefinierte Daten in die optischen Softwaretools für hochpräzise optische Produktsimulationen und Visualisierungen zu importieren. Erfahren Sie mehr unter:  
<https://www.synopsys.com/optical-solutions.html>
- Software-Support und Software-Schulungen
- Oberflächen- und Volumestremessungen (BRDF, BTDF, TIS)
- Brechungsindexmessungen von Polymeren
- Optische Entwicklungen als Dienstleister

## Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte

- Streu- Messgeräte (Synopsys REFLET180S, High Specular Measurement System, Synopsys Mini-Diff Systems, Synopsys TIS Pro)
- Mess- und Optimierungsalgorithmus für volumenstreuende Materialien
- Software die auf sequentiell, nicht-sequentiell Raytracing, Optimierung und Optimierungsalgorithmen basiert

## Spezielle Ausstattung

Synopsys REFLET Bench, Goniometer, Hochspiegelndes Messsystem, Ulbrichtkugel mit einem Durchmesser von bis zu 1,2 m, Videophotometer.

**NEU:** Synopsys TIS Pro für effiziente Messungen von Reflexionsgrad, Transmission und Absorption.



# DIFFRACTIVE OPTICAL ELEMENTS

HOLOEYE offers a steadily growing range of affordable off-the-shelf standard Diffractive Optical Elements (DOE), either replicated using polymer materials or produced in glass materials. For requirements beyond the off-the-shelf product range, we offer the development and volume production of customized Diffractive Optics using different materials (polymers, fused silica) tailored to your application.

# SPATIAL LIGHT MODULATORS

HOLOEYE offers a great variety of LCOS based Spatial Light Modulators. Versions for wavelength ranges starting at the UV at 355 nm up to versions for the short-wave infrared (SWIR) up to 2500 nm. Pixel pitches from 8  $\mu\text{m}$  down to 3.74  $\mu\text{m}$  and resolutions from 1920x1080 up to 4160 x 2464 pixel. There are also versions available featuring dielectric mirror coatings for use with higher power lasers.



HOLOEYE Photonics AG

+49 (0)30 4036 9380  
contact@holoeeye.com



holoeeye.com



SIOS Meßtechnik GmbH  
Am Vogelherd 46  
98693 Ilmenau/Germany  
+49 (0) 3677 64 47-0



## Multi Beam Interferometry for your measurement task



Length and angle measurements



Application for calibrations



Straightness measurements



Applications in vacuum



Measuring room qualification

SIOS develops and manufactures laser interferometric measurement technology and precision measurement devices for calibration and nano measurement technology for measuring length, angle, vibration, straightness, temperature, force and other measured variables with the highest resolution and low measurement uncertainty.

Scientists, engineers, metrologists, quality inspectors and procurement all over the world trust SIOS precision metrology.

Discover our full range of products at: [www.sios-precision.com](http://www.sios-precision.com)

# **SPIE. DIGITAL LIBRARY**

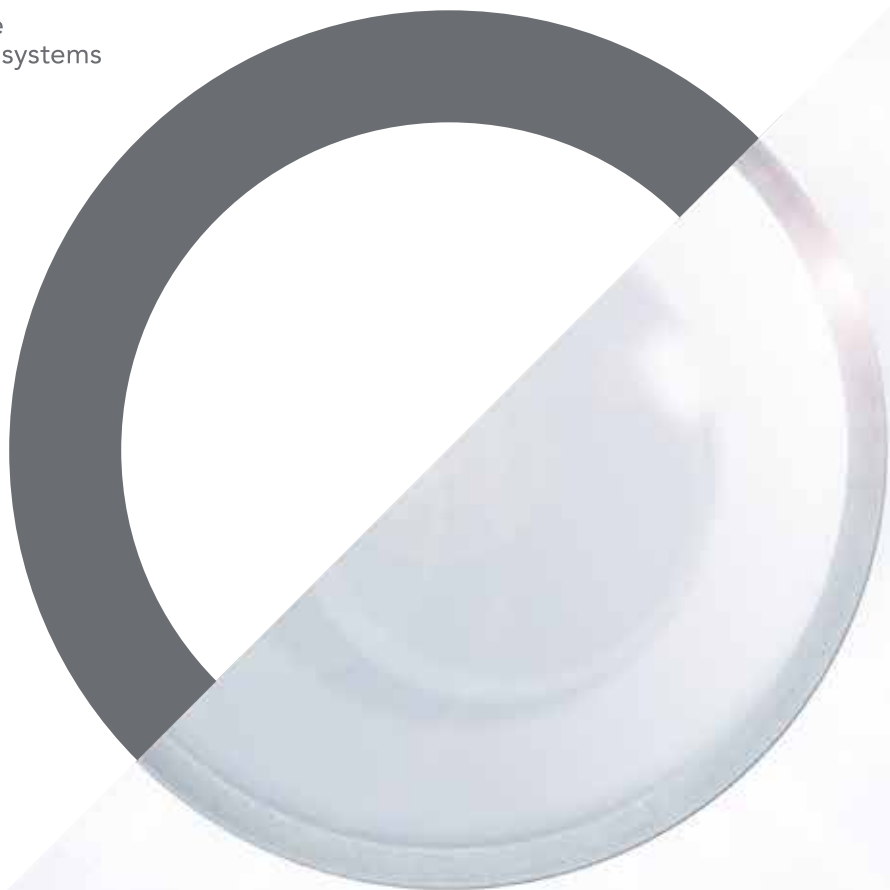
**The world's largest collection of optics  
and photonics applied research**

Aerospace & Defense Technologies  
Biomedical Optics & Medical Imaging  
Communications & Networks  
Imaging & Display Technologies  
Lasers & Applications  
Nano/Micro Electronics & Materials  
Optical Science & Engineering  
Physics & Astronomy  
Quantum Science & Technology  
Remote & Environmental Sensing  
Renewable Energy & Efficiency  
Semiconductor Lithography & Patterning

**[SPIDigitalLibrary.org](http://SPIDigitalLibrary.org)**

**mikrop**

prime  
optic systems



# Prime optic systems – made in Switzerland.

Precision down to smallest dimensions: in design,  
manufacturing and assembly.

## **Integrated Solutions Provider**

Your partner from optical design to prototyping and serial production

## **Optical Components**

All types of optical components from Ø0.3mm: lenses, negatives, windows, prism, rod lenses, etc.

## **Optical Assemblies**

Multi-element assemblies starting at Ø0.3mm: achromats, apochromats, triplets, rod-lens assembly, etc.

## **Micro Objectives**

Tailored objective solutions: for CMOS / CCD camera formats from 1/4" down to 1/18", with Field-of-Views (FOV) from 30° up to 210°

## **Micro Camera Solutions for e.g. OmniVision® OH01A10 Sensor**

Micro objectives specifically adapted to different micro-camera sensors like e.g. OmniVision® OH01A10. Manufactured in optical glass, the objectives offer a brilliant image with maximum depth of focus & FOV's

## **Capabilities**

To review all our capabilities please take a closer look at our website [www.mikrop.com](http://www.mikrop.com) or contact us at [info@mikrop.com](mailto:info@mikrop.com)

## **mikrop ag**

Industriestrasse 22 • 9301 Wittenbach • Switzerland • Phone +41 71 292 10 80  
[info@mikrop.com](mailto:info@mikrop.com) • [mikrop.com](http://mikrop.com)





# ■ sensor ■ innovation ■ hub ■

Technologietransfer

## Sensor-Forschung und -Entwicklung

- Miniaturisierung
- Photonik und optische Beschichtungen
- Mikro-/Elektronik
- Systemintegration
- Datenauswertung
- Applikationsentwicklung



si-hub.ch

powered by



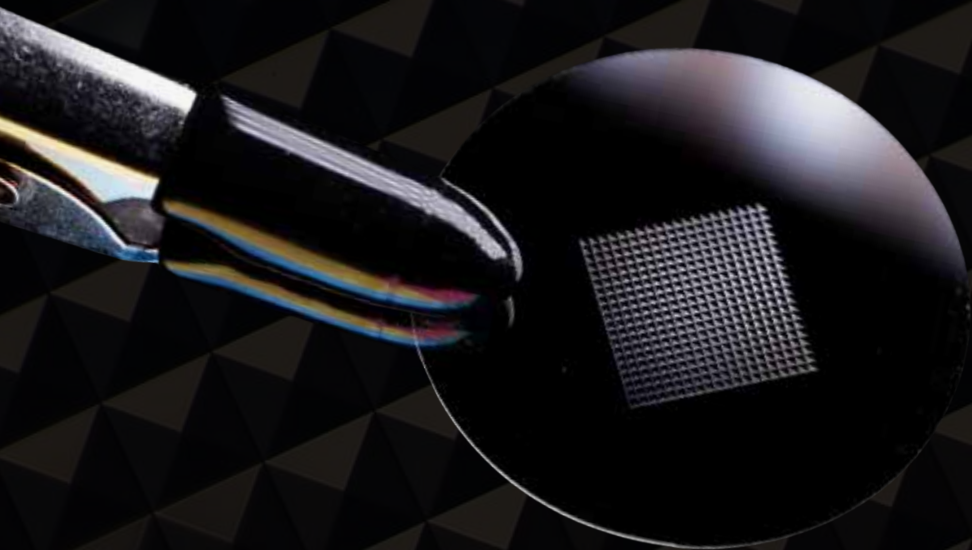




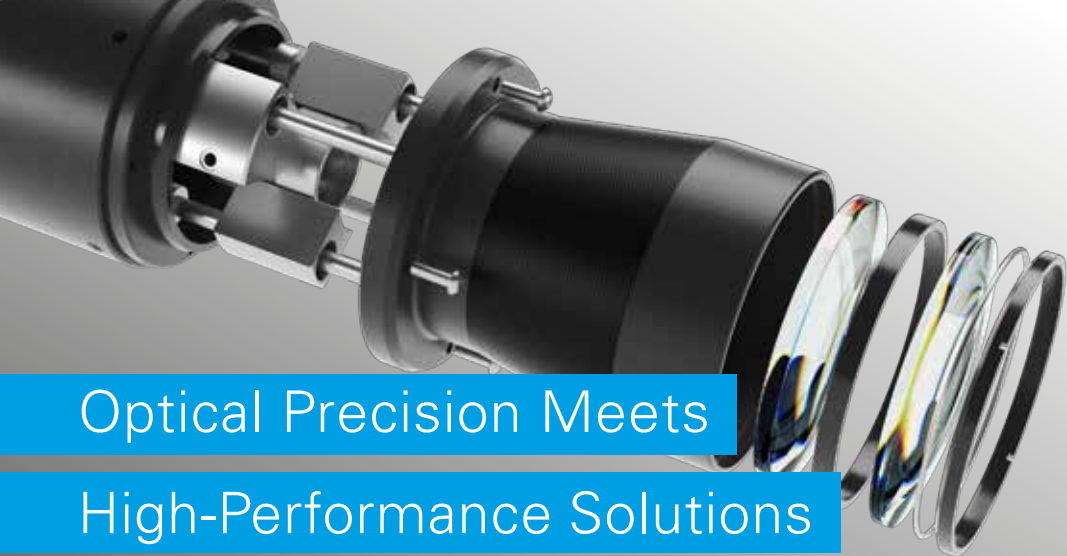
IN DER REGION VERWURZELT, IN DER WELT ZU HAUSE.

THIS IS **SICK**  
Sensor Intelligence.

Vom Sensor zur Sensorintelligenz: Aus genialen Ideen und Pioniergeist wurde Automatisierungstechnik, die die Welt verändert hat. Was Dr. Erwin Sick 1946 begonnen hat, führen heute über 12.000 Mitarbeitende in aller Welt in die neue Zukunft von Industrie 4.0. Mit unseren Ideen schützen wir Menschen und die Umwelt. Wir helfen, Prozesse effizienter zu machen und Ressourcen zu schonen. [www.sick.com](http://www.sick.com)



printoptix



# Optical Precision Meets High-Performance Solutions

## Technologies & Capabilities

- Optical design and system engineering
- High-precision glass forming and molding
- Manufacturing of high-precision micro optics
- Laser system and imaging optics assemblies
- Advanced optical coatings for optimized system performance
- Measurement technology and metrology equipment

For over six decades, FISBA has partnered with customers to develop innovative technologies and establish proven processes. You can expect trusted manufacturing technology and uncompromising quality from us.



Automated processes



Precision up to 0.3 mm



State-of-the-art infrastructure

**FISBA** Innovators  
in Photonics

[www.fisba.com](http://www.fisba.com) | [info@fisba.com](mailto:info@fisba.com)

**SCHOTT**  
glass made of ideas



**You demand perfection.  
We deliver precision.**



# Laser projection: A pioneering solution in digital display technology

Sharper, brighter, built to last

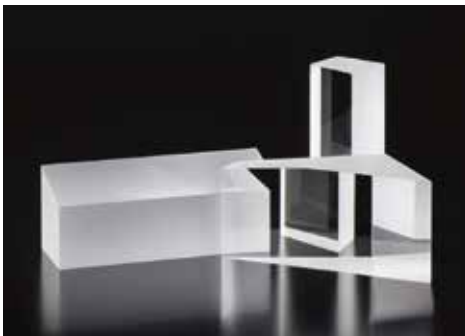


## Ceramic laser phosphor converters

The strength of the light source generated by SCHOTT's Ceramic Laser Phosphor Converters benefits an extensive range of sectors. They power searchlights and spotlights, digital projectors for movie theaters and large venues, as well as create high-intensity light sources for microscopy, medical applications and machine vision.

## Aspherical lenses for projectors

SCHOTT was a pioneer in the development of aspherical lenses and started manufacturing aspheres in 2001. Aspheres offer greater freedom in optical design and avoid spherical aberrations, while a smaller footprint results in lighter and more compact designs that can be customized to your needs.



## Prism for projectors

Flat polished surfaces of prisms are used for the refraction, reflection or dispersion of light, and are positioned inside optical systems. SCHOTT is expanding the potential of prisms by using non-standard materials to improve and expand the range of technical specifications and applications.

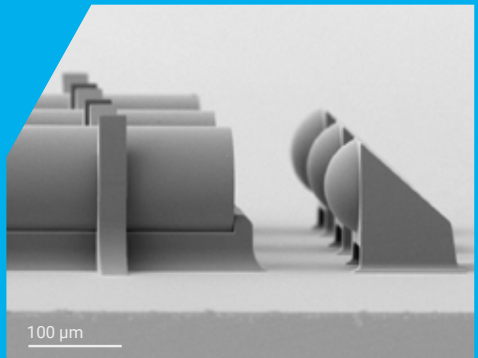
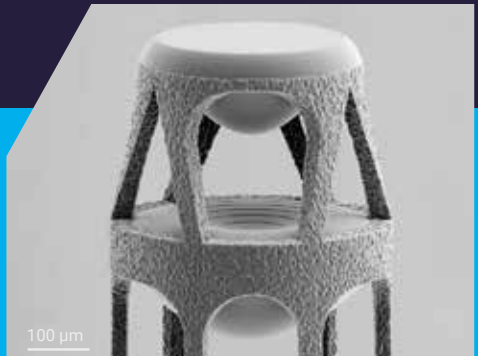
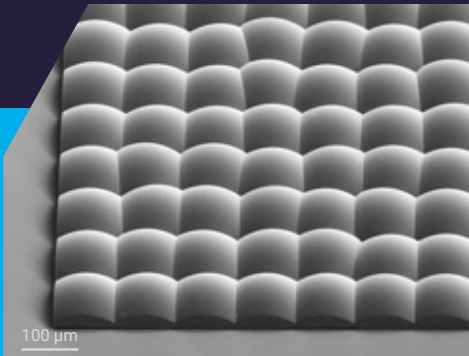
# Quantum X align

3D printing by 2GL<sup>®</sup> with  
nanoprecision alignment system



Think big. Print nano.

# Think big. Print nano.



## Freeform microoptics

Industrial-scale production with superior quality & output

- ▶ Highest throughput with 2GL® ultra-fast voxel tuning
- ▶ Wafer-scale manufacturing of freeform microoptics
- ▶ Rapid prototyping and master template manufacturing

# LICHT. EINFACH



**Optische Berechnungen.  
Von der Idee bis zum fertigen Produkt.**

Komponenten und Abbildungssysteme · Sensoroptik · Beleuchtungsoptik

**Throl**  
optics

Throl optics GmbH • Bergstraße 10 • 35578 Wetzlar  
Telefon 06441 / 9526896 • E-Mail: [info@throl.de](mailto:info@throl.de) • [www.throl.de](http://www.throl.de)



# EINZIGARTIG.



## Produktion und Fertigung. Präzise und zuverlässig.

Präzisionsoptik für Foto, Elektronik, medizinische Instrumente und mehr.



TT optics GmbH • Am Wald 12b • 99880 Waltershausen  
Telefon 036259 / 58839 • E-Mail: [info@ttoptics.com](mailto:info@ttoptics.com)

# Ultra precision metrology tools



## Laser Interferometers | Optical Profilers | Nano-Position Sensors

Over 50 years of service means you're not just choosing a provider; you're choosing a partner who's been delivering results for generations.

### Performance Excellence

Achieve high precision with sub-nanometer accuracy, maximize tool uptime, and reduce cycle times without compromising accuracy.

### Quality Assurance

Increase first-pass yield, enhance microscopic defect detection, and maintain critical alignment tolerances for superior quality.

### Operational Efficiency

Lower production costs, increase throughput efficiency, and optimize energy consumption for sustainable operations.

## Helping you tackle your most complex problems

### Overcoming Precision Challenges

- Achieve sub-nanometer accuracy
- Maximize tool uptime
- Reduce cycle times

### Ensuring Quality Standards

- Increase first-pass yield
- Enhance defect detection
- Maintain precision alignment

### Boosting Operational Efficiency

- Lower production costs
- Increase throughput

### Maximizing Customer Value

- Reduce lifecycle costs
- Ensure compliance
- Prove ROI

Achieve unmatched accuracy, maximize uptime, enhance quality, and optimize efficiency for superior customer value.



### Qualifire™ Laser Interferometer

Achieve precise, reliable measurements faster with innovative features, reducing setup time and enhancing productivity.



### New View™ 9000 3D Optical Profiler

Versatility, sub-nanometer precision, fast non-contact measurements, and flexible configurations for diverse applications.



### Zygo Nano-Position Sensors

Enhance precision and reliability in motion control systems, ensuring optimal performance and consistent, high-quality results.



### Learn more

Scan the QR code for more product details, brochures, specs, application notes and more.

### Contact us

Zygo, Rudolf-Diesel-Str. 16, D-64331 Weiterstadt  
+49 6150 543 7064 | [zygoinfo.de@ametec.com](mailto:zygoinfo.de@ametec.com) | [zygo.de](http://zygo.de)

Your engineers' **favorite engineers**



# FIBER OPTICS FOR QUANTUM

High-tech building blocks for quantum optics, quantum information and ultracold quantum gases



Fiber Couplers  
and Collimators



PCF Fiber Cables



**NEW!**

Double-Pass  
Acousto-Optic  
Modulators (AOM)



Beam Launchers

Schäfter + Kirchhoff

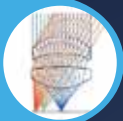


[www.sukhamburg.com](http://www.sukhamburg.com)

# Your Vision Meets

# Our Precision!

Optical  
Design



Structural  
Design



Process  
Development



3D Printing  
Service



Post-Processing



Measurement &  
Analysis



Series Production



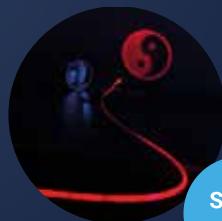
Medical



VR & AR



Photonics



Smart  
Devices



Illumi-  
nation

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

 [sales@printoptix.com](mailto:sales@printoptix.com)

 +49 1578 5006381

 Stuttgart, Germany



printoptix

UA3P is widely used for Aspherical and Freeform measurement around the world

## Ultrahigh Accurate 3-D Profilometer UA3P

In the 1980s, Panasonic was the first company in the world to commercialize glass-molded aspherical lenses. UA3P was developed under thus efforts.

„No measurement, no precision, no production.“

This slogan was born during difficult challenges that Panasonic was facing.

UA3P has been used by customers around the world since its launching and has now gained their trust as the primary standard in the optical industry. For example, lenses are produced through the processes of creating molds with a processing machine and using a molding machine to form lens products. In order to control production conditions that is changing constantly, measuring equipment with higher precision that enables us to capture „changes“ is indispensable. We believe that high-quality manufacturing can only be achieved with high-precision measuring equipment.



Scan QR-Code for more information!

### The world's highest-level 3-D profilometer „UA3P“

In the years ahead, its nanometer-level reproducibility will contribute to the realization of the dreams about higher precision not only in the optical industry but in the wide range of customers in „Measurement“. Evolving UA3P is our mission to society.

The Panasonic UA3P profilometer series is designed to measure aspherical lenses & molds, freeform optics, mirrors and any other precision component requiring nanometer level accuracy ranging up to 600mm x 600mm (Measurement area 500 x 500mm). Different machine models are available to meet your optical & high aspect ratio metrology needs.

A stable machine frame on a solid granite-base enables a world-leading metrology system on a nanometer level accuracy as a unique metrology tool: UA3P

## The UA3P Series

ranging from standard to large-scale,  
twin probe to high-accuracy equipment

### Standard equipment

UA3P-310 (50 × 50 × 20\*)  
UA3P-400 (100 × 100 × 35\*)



### Large-Scale equipment

UA3P-500H (200 × 200 × 45\*)  
UA3P-650H (400 × 400 × 120\*)  
UA3P-700H (500 × 500 × 120\*)



### Twin probe equipment

UA3P-400T (100 × 100 × 35\*)  
Incl. top- and sideprobe



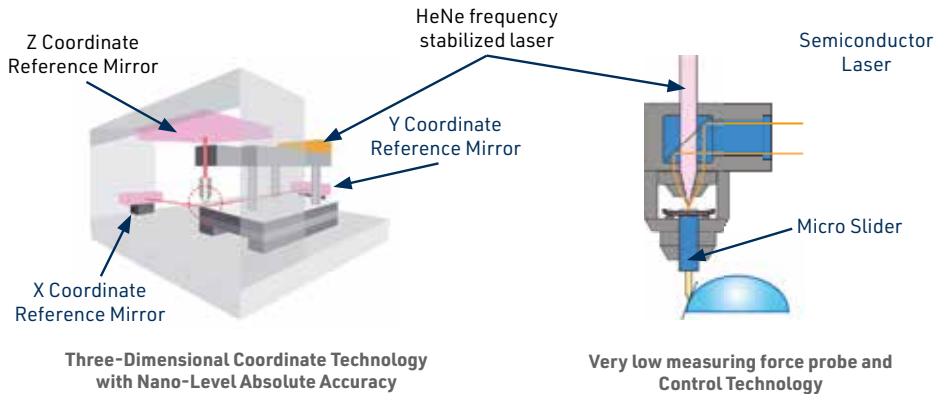
### High-accuracy equipment

UA3P-3100 (50 × 50 × 20\*)  
UA3P-4000 (120 × 120 × 35\*)  
UA3P-5000 (200 × 200 × 50\*)



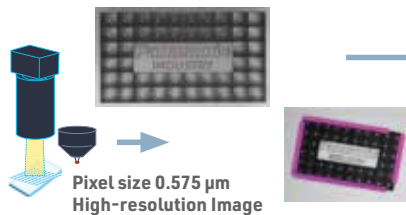
\* Measurement range (X × Y × Z mm)

## Nano-Precision Coordinates and Very Low Measurement Force Control Technology

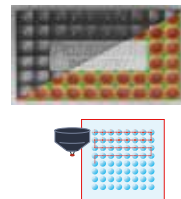


## Array lens measurement solution

### 1. Lens-array Detect Location



### 2. Approach the stylus to each lens based on the detected position.



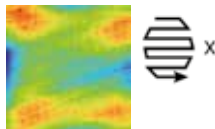
## Short measurement approach to machining marks

### On-Axis Measurement (Cutting)



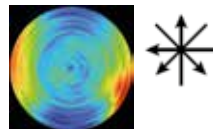
- Shape Correction Evaluation of mold and lens
- Ring line Evaluation

### On-Plane Measurement (for various NC passes)



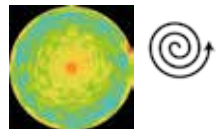
- Complex measurement area Evaluation

### Pizza Cut Measurement (Cutting)



- ASU/Ring line Evaluation of mold and lens

### Helix Measurement (Polishing/Grinding)



- High Speed/High Density Measurement
- Slope Evaluation

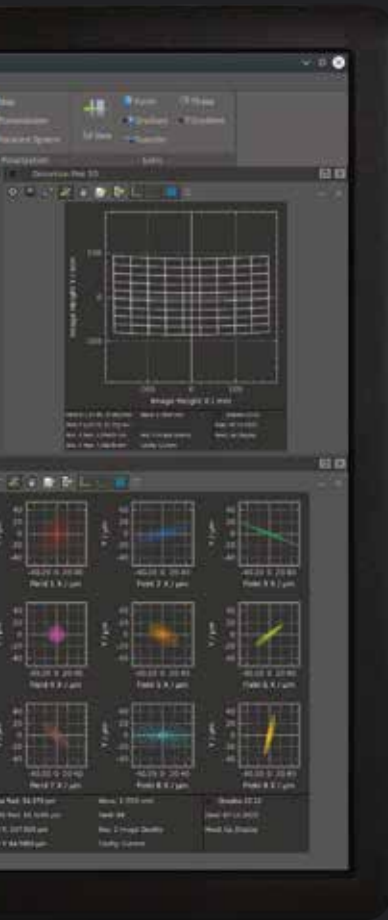








QUADDOA  
optical systems

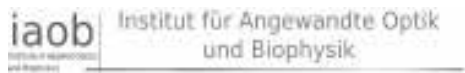


the future of  
optical design

Download your Free Trial at  
[www.quadoo.com](http://www.quadoo.com)



## Korporative Mitglieder der DGaO 2025





# DGaO

Deutsche Gesellschaft für angewandte Optik  
The German Branch of the European Optical Society



© Uli Regenschneit



Universität Stuttgart  
Institut für Technische Optik



[www.dgao.de](http://www.dgao.de)