

DGaO



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



Einladung und Programm 112. Jahrestagung

Ilmenau/Thüringen, 14. Juni – 18. Juni 2011



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU

Sponsoren der 112. Jahrestagung der DGaO



CORNING



Steinbeis-Transferzentrum
Qualitätssicherung & Bildverarbeitung



Vorsitzender: Prof. Dr. Michael M. Pfeffer

Einladung

zur 112. Jahrestagung

vom 14. Juni bis 18. Juni 2011

und zur satzungsgemäßen

ordentlichen Mitgliederversammlung der DGaO

am 17. Juni 2011

in Ilmenau / Thüringen

Programm-Komitee 2011

Dr. S. Bäumer, Philipsresearch, Eindhoven, Niederlande
Dr. B. Dörband, Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen
Ch. Faber, Friedrich - Alexander- Universität Erlangen - Nürnberg
Prof. Dr. G. Häusler, Friedrich - Alexander- Universität Erlangen - Nürnberg
Dr. F. Höller, Carl Zeiss AG, Oberkochen
A. Jacobsen, OpSys Project Consulting, Schöffengrund
B. Kleemann, Zeiss AG, Oberkochen
Prof. Dr. M. Pfeffer, Hochschule Weingarten - Ravensburg
Dr. Rainer Schuhmann, Berliner Glas KGaA, Berlin
Prof. Dr. S. Sinzinger, Technische Universität Ilmenau
T. Thöniß, Qioptiq Photonics GmbH u. Co.KG , Göttingen
Dr. W. Vollrath, KLA - Tencor MIE GmbH, Weilburg

unter Mitarbeit von:

Elizabeth Nagel, Sekretariat der DGaO
Andrea Schneider, Technische Universität Ilmenau
Karolin Schuster, Technische Universität Ilmenau

DGaO-Proceedings – 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 2010 wurde ca. 9000 mal auf die Internetseiten der DGaO-Proceedings zugegriffen, eine Steigerung von 20% verglichen mit dem Jahr zuvor (7500 Zugriffe).

Die Frist für die Einreichung der Beiträge zur Jahrestagung 2011 endet am 17. Juli 2011.

Eine Anleitung für die Erstellung der zweiseitigen Beiträge und für die Einstellung der Poster gibt es unter: http://www.dgao-proceedings.de/hinweise/hinweise_d.php
Eds.: G. Häusler, C. Faber

Tagungsgeschäftsführer

Prof. Dr. Stefan Sinzinger, Technische Universität Ilmenau

Inhalt

Programmübersicht	4
Tagungsprogramm: Vorträge	8
Mittwoch	8
Donnerstag	46
Freitag	64
Samstag	86
Tagungsprogramm: Poster	98
Autorenverzeichnis	152
Fraunhofer-Veranstaltung	156
Mitteilungen der Tagungsgeschäftsführung	158
Anreise zum Tagungsort	161
Rahmenprogramm	163
Einladung zur DGaO-Mitgliederversammlung	164
Werbeseiten der Aussteller	171

Diesem Programmheft liegen Anlagen zur Tagungsanmeldung
und Zimmerreservierung bei.

Programmübersicht

Mittwoch, 15. Juni

Zeit	Raum	Vortrag	Titel/Topic	Seite
08:30	A		Eröffnung	6
09:00	A	H1	<i>S. Sinzinger:</i> 55 Jahre Optik in Ilmenau – von der analytischen Bildfehlertheorie zu optischen Mikrosystemen	8
09:30	A	H2	<i>G. Jäger:</i> Grundlagen laserinterferometrischer Präzisionsmessgeräte	8
10:00			Kaffeepause	
10:30	A	A1-A6	Präzisionsmesstechnik/ Hyperspectral Imaging	10
10:30	B	B1-B6	Optische und optomechanische Mikrosysteme	16
12:00			Mittagspause	
13:30	A	H3	<i>A. Herkommer:</i> Variable Beleuchtungssysteme – Konzepte und Limitationen am Beispiel Lithographie	22
14:00			Kaffeepause	
14:15	A	A7-A12	Präzisionsmesstechnik/ Hyperspectral Imaging	24
14:15	B	B7-B12	Modellierung und Simulation optischer Systeme	30
15:45			Posterpräsentation/ Kaffeepause	
17:15	A	A13-A17	Präzisionsmesstechnik/ Hyperspectral Imaging	36
17:15	B	B13-B17	Modellierung und Simulation optischer Systeme	42

Donnerstag, 16. Juni

Zeit	Raum	Vortrag	Titel/Topic	Seite
08:30	A	H4	<i>J. Ojeda-Castañeda:</i> Array of Tunable Complex Amplitude Filters for Extended Depth of Field	46
09:00	A	H5	<i>H. P. Herzig:</i> Microsystem concept for sensing applications	46
09:30			Kaffeepause	
10:00	A	A18-A21	Optische Mikromanipulation/ Mikrosysteme	48
10:00	B	B18-B21	Modellierung und Simulation optischer Systeme	52
11:00			Kaffeepause	
11:15	A	A22-A25	Präzisionsmesstechnik/ Hyperspectral Imaging	56
11:15	B	B22-B25	Modellierung und Simulation optischer Systeme	60
12:15			Mittagspause	
12:30			Ausflug Rahmenprogramm	

Die Begrüßung und alle Vorträge finden an der TU Ilmenau im Humboldtgebäude statt.

(Raum A: Audimax und Raum B: Humboldt Hörsaal HU 132)

Posterausstellung im Foyer: Mittwoch bis Samstag

P1 – P56

Programmübersicht

Freitag, 17. Juni

Zeit	Saal	Vortrag	Titel/Topic	Seite
08:30	A	S1	<i>D. Lemke:</i> Infrarot-Weltraum-Observatorien	64
09:00	A	S2	<i>M. Schöller:</i> Beating the diffraction limit set by a single telescope: milliarcsecond imaging and microarcsecond astrometry with Optical Long Baseline Interferometry (OLBIN)	64
09:30	A	S3	<i>W. Gaessler:</i> Adaptive Optics in Astronomy – Getting the stars sharp	64
10:00			Kaffeepause	
10:30	A	S4	<i>A. McPherson:</i> European Extremely Large Telescope: a review of the status and the challenges of the optical design	66
11:00	A	S5	<i>P. Predehl:</i> Röntgen-Astronomie	66
11:30	A	S6	<i>Ch. Stegmann:</i> Das Cherenkov-Telescope-Array – ein Observatorium für Gammastrahlungsastronomie im Energiebereich um 1 TeV	68
12:00	A		Diskussion S 1 - S 6	
12:15			Mittagspause	
13:30	A	A26-A29	Sonstige Themen/ Faseroptische Systeme	70
13:30	B	B26-B29	Modellierung und Simulation optischer Systeme	74
14:30			Kaffeepause	
14:45	A	A30-A33	Sonstige Themen/ Systeme für die Laser-materialbearbeitung	78
14:45	B	B30-B33	Präzisionsmesstechnik/ Hyperspectral Imaging	82
16:00	B		Mitgliederversammlung / Poster	
18:30			Fraunhofer-Vorlesung Festbankett	

Samstag, 18. Juni

Zeit	Saal	Vortrag	Titel/Topic	Seite
09:00	A	H6	<i>J. T. Sheridan:</i> Photopolymer Materials	86
09:30	A	H7	<i>M. Testorf:</i> Lightfield photography and the tomographic analysis of optical phase space	86
10:00			Kaffeepause	
10:30	A	A34-A39	Präzisionsmesstechnik/ Hyperspectral Imaging	88
10:30	B	B34-B39	Sonstige Themen/ Interferometrische Verfahren	94
12:00			Ende der Tagung	

Die Mitgliederversammlung findet im Raum B, die Fraunhofer - Vorlesung im Hotel Tanne statt.

Tagungsprogramm

Dienstag, 14. Juni

Begrüßungsabend im Foyer des Humboldtbaus

18:00 Uhr Einfinden der bereits angereisten Tagungsteilnehmer im Foyer des Humboldtbaus

19:00 Uhr Begrüßung durch den Tagungsgeschäftsführer, Prof. Dr. S. Sinzinger

Vortrag: Prof. Dr. M. Köhler „Thüringer Burgenlandschaften“

Anbräteln in gemütlicher Runde

Mittwoch, 15. Juni

08:30 Uhr Eröffnung im Audimax (Raum A) auf dem Campus der TU Ilmenau

Prof. Dr. Michael M. Pfeffer
Vorsitzender der DGaO

Prof. Dr. Stefan Sinzinger
Tagungsgeschäftsführer

Begrüßungsworte durch den Rektor der Technische Universität Ilmenau,
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Peter Scharff

09:00 Uhr H1: S. Sinzinger: „55 Jahre Optik in Ilmenau –
von der analytischen Bildfehlertheorie zu optischen Mikrosystemen“

H2: G. Jäger: „Grundlagen laserinterferometrischer Präzisionsmessgeräte“

Begrüßungsabend

Eröffnungssitzung

55 Jahre Optik in Ilmenau – von der analytischen Bildfehlertheorie zu optischen Mikrosystemen

S. Sinzinger, B. Mitschunas, R. Weber, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Technische Optik, stefan.sinzinger@tu-ilmenau.de

Über einen historischen Rückblick auf die Wurzeln der Technischen Optik in Ilmenau, die eng mit dem Namen Prof. Heinz Haferkorn verbunden sind, spannen wir einen Bogen bis zu den aktuellen Forschungsthemen im Fachgebiet. Bis heute zeigt die von Haferkorn entwickelte Systematik zu Bewertung, Synthese und Optimierung optischer Systeme wichtige Grundstrategien bei der optischen Geräteentwicklung auf. Die Anpassung dieser Systematiken an neue technologische Randbedingungen und Anwendungsgebiete stellt ein spannendes Forschungsfeld dar. Zudem spannt sich damit ein Rahmen für eine Vielzahl der am Fachgebiet Technische Optik aktuell bearbeiteten Forschungsthemen auf, die sich von optischen Mikrosystemen für Anwendungen z.B. in der Präzisionsmesstechnik und Produktionstechnik oder Biotechnologie bis hin zu Designstrategien für allgemeine optische Systeme mit Reifformoberflächen erstrecken.

Grundlagen laserinterferometrischer Präzisionsmessgeräte

G. Jäger, Technische Universität Ilmenau, Institut für Prozessmess- und Sensortechnik, gerd.jager@tu-ilmenau.de

Auf der Grundlage der Interferenz ebener Lichtwellen werden zunächst die Heterodyne-Verfahren (Zweifrequenz-Verfahren) behandelt. Bei Heterodyne-Verfahren ändert sich das Interferenzbild mit der Differenzfrequenz und enthält die sogenannte synthetische Wellenlänge. Homodyne-Verfahren verwenden nur eine Frequenz (Einfrequenz-Verfahren).

Beide Verfahren kommen in Forschung, Technik und Industrie zur Anwendung. Mittels einer metrologischen Analyse werden Möglichkeiten und Grenzen laserinterferometrischer Längenmessverfahren aufgezeigt. Neben den hohen Auflösungen dieser Verfahren müssen die Messungssicherheiten betrachtet werden, welche die Limits deutlich werden lassen. Die Meterdefinition von 1983 stellt einen Fortschritt zur Reduzierung der Fehlergrenzen laserinterferometrischer Längenmessungen dar. Bei dem Bestreben nach möglichst kleinen Messungssicherheiten laserinterferometrischer Längenmessungen spielt die Einhaltung des Abbe-Komparatorprinzips eine wichtige Rolle.

Will man Präzisionskoordinatenmessgeräte entwickeln, muss die Frage nach dem günstigsten Aufbauprinzip geklärt werden. Es zeigt sich, dass mit dem „sample scanning mode“ das Abbeprinzip in allen drei Messachsen verwirklicht werden kann. Die Realisierung erfolgte in der Nanomessmaschine NMM-1, entwickelt am Institut für Prozessmess- und Sensortechnik und produziert durch die Firma SIOS Meßtechnik GmbH.

Anhand einiger Beispiele werden die Vorteile der Anwendung des „sample scanning mode“ demonstriert.

10:00 – 10:30 Uhr **Kaffeepause**

Optische Mikromanipulation / Mikrosysteme

Sitzungsleiter:

M. Pfeffer, Hochschule Weingarten-Ravensburg

Präzisionsmesstechnik / Hyperspectral Imaging

Sitzungsleiter:

M. Pfeffer, Hochschule Weingarten-Ravensburg

A1
10:30**Phase-Shift vs. Line-Shift: Two ways to do Deflectometry**

Ch. Faber, D. Sprenger, G. Häusler, Institute of Optics, Information and Photonics, University of Erlangen-Nuremberg, christian.faber@physik.uni-erlangen.de

Phase-Shifting Deflectometry (PMD) has proven to be a powerful and versatile measurement principle, facilitating a wide variety of industrial applications. The key idea is to determine the optical effect of a specular surface by measuring how the chief rays of a known imaging system are deflected by the object under test. On last year's DGaO conference, we presented a new deflectometric technique called "Line-Shift-Deflectometry", replacing the classical phase evaluation by a proper localization of the intensity peak of a moving slit mask. Whereas for PMD the potentials and limitations have been extensively studied in the past (cumulated in an uncertainty relation linking the product of lateral and angular resolution to the signal-to-noise ratio of the system), it has been far from obvious whether these considerations also hold for the line-shifting case. In this contribution we present a generalized theoretical background for deflectometric techniques, revealing how the uncertainty relation has to be modified for different cases. A comparison is given to the Shack-Hartmann case, which can be viewed as just another special implementation of a deflectometric sensor.

A2
10:45**Absolut-Abstandsreferenz für die Streifen-reflexionstechnik zur Verringerung systematischer Messfehler**

M. Sandner, Ch. v. Kopylow, R. B. Bergmann, BIAS - Bremer Institut für angewandte Strahltechnik; J. Burke, CSIRO Materials Science and Engineering - Australian Centre for Precision Optics; W. Li, VEW Vereinigte Elektronik Werkstätten GmbH Bremen; Th. Bothe, GOM - Gesellschaft für Optische Messtechnik mbH, Braunschweig, sandner@bias.de

Durch Einsatz der Streifenreflexionstechnik (SRT) lassen sich reflektierende Objekte flächig, schnell und mit geringer Messunsicherheit vermessen. Mit dem Verfahren werden die Gradienten der Objektoberfläche gemessen und die Kontur des Objekts anschließend durch Integration berechnet. Die korrekte Bestimmung der Gradienten setzt einen auf wenige Mikrometer genau bekannten Absolutabstand des Objektes zum Messkopf voraus. Ein nicht korrekter Absolutabstandswert resultiert in einem systematischen Fehler im Gradientenbild und somit auch in der berechneten Kontur. Um systematische Anteile des Messfehlers in die Größenordnung der niedrigen Messunsicherheit zu bringen, wurde ein robustes und einfaches Messsystem mit externer Bestimmung dieses Absolutabstands realisiert. Das System wird vorgestellt und die Qualifizierung anhand eines asphärischen Referenzobjekts präsentiert. Durch die Verringerung der systematischen Fehler wird die SRT zu einer Alternative zu aufwändigen interferometrischen Messungen an Freiformkörpern.

Präzisionsmesstechnik/Hyperspectral Imaging

Sitzungsleiter:
B. Dörband, Carl Zeiss SMT GmbH

Deflektometrische Selbstkalibrierung für spiegelnde Objekte

E. Olesch, Ch. Faber, G. Häusler, Institute of Optics, Information and Photonics, University of Erlangen-Nuremberg, evelyn.olesch@physik.uni-erlangen.de

Phasenmessende Deflektometrie (PMD) ist inzwischen eine etablierte Methode, um spiegelnde Oberflächen zu vermessen. Die lokale Genauigkeit der primären Messgröße, der Neigung, ist dabei extrem hoch. Um aber die globale Form zu erhalten, müssen die Neigungsdaten integriert werden. Jede Integration verstärkt jedoch systematische Fehler. Deshalb ist eine hochgenaue Kalibrierung für die Deflektometrie essentiell. Im letzten Jahr wurde eine solche neue Kalibrieremethode vorgestellt [1]: Messungen eines ebenen Spiegels in verschiedenen Positionen sind dabei ausreichend, um alle Kalibrierparameter zu ermitteln. Nun wird eine Erweiterung dieser Methode vorgestellt: Sie ist mit jedem beliebigen spiegelnden Objekt möglich. Dessen Geometrie muss nicht einmal bekannt sein; sie fällt als Teilergebnis des Verfahrens mit ab. Dies erlaubt es sogar, mit unkalibrierten Aufbauten quantitative Messungen durchzuführen. Wird das neue Verfahren nur zur Nachkalibrierung der Sensorgeometrie verwendet, so reicht nun eine einzige Messung eines gekrümmten Objektes bekannter Geometrie aus. Die neue Methode stellt eine weitreichende Verbesserung für den Anwender dar.

[1] E. Olesch et al.; Proc. DGaO 2010, P33

Virtuelle und reale Experimente am neuen deflektometrischen Ebenheitsstandard

G. Ehret, M. Schulz, M. Baier, A. Fritzenreiter, W. Jöckel, M. Stavridis, C. Elster, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, gerd.ehret@ptb.de

An der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) wurden 2010 zwei neue optische deflektometrische Systeme zur absoluten Topographiebestimmung von nahezu ebenen Flächen bis zu Größen von 1 Meter installiert. Das eine System ist für liegende und das andere für stehende Prüflinge konzipiert. Das Design und die Messverfahren der beiden neuen Systeme werden vorgestellt. Die wesentlichen Fehlereinflussgrößen wie optische Flächen im Strahlengang, mechanische Führungen oder Justage der Komponenten werden durch virtuelle und reale Experimente quantifiziert. Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse zeigen auf, welche Genauigkeiten benötigt werden, um deflektometrische Topographiemessungen im Sub-Nanometerbereich realisieren zu können. Die Modellierungen zeigen auch, dass erst durch eine sehr gute Justage der optischen und mechanischen Komponenten hochgenaue Topographiemessungen möglich sind. Es werden experimentelle Verfahren vorgestellt, die Justierungen der Systeme im Winkelsekundenbereich ermöglichen. Erste Ergebnisse von Topographiemessungen werden gezeigt und diskutiert.

Präzisionsmesstechnik/Hyperspectral Imaging

Sitzungsleiter:
B. Dörband, Carl Zeiss SMT GmbH

Raum A

A5
11:30**Optische Formvermessung von Solarspiegeln**

U. Krackhardt, J. Bär, Photonic Metrology GmbH & Co.KG, Walldorf,
ulrich.krackhardt@ Photonic-metrology.com

Solarthermie basiert auf Erhitzung eines Wärmetauschermediums (typ. Öl) mittels gebündelter Sonnenstrahlen, woraus mit Hilfe von Niedertemperatur-Turbinen elektrische Energie gewonnen wird. Die Bündelung geschieht durch Konzentratoren, bspw. Rinnenreflektoren. Für maximale Ausbeute ist die Formtreue der Reflektorspiegel essentiell. Die 3D-Form der Spiegel muss daher sowohl bei der Herstellung, der Montage und wenn möglich sogar im Betrieb überwacht werden (Alterung, etc.). Gegenüber der Deflektometrie hat das hier vorgestellte Verfahren „RaySense“ den Vorteil, dass es auch auf bereits im Feld montierte Spiegel angewendet werden kann. RaySense erfordert darüber hinaus einen deutlich geringeren Arbeitsabstand und verlangt daher nicht nach einem abgeschlossenen umbauten Raum für eine Vermessung. Weiterhin zeichnet sich RaySense durch ein sehr einfaches Kalibrierverfahren aus, das vor Ort innerhalb weniger Minuten und ohne Kalibriernormal durchgeführt werden kann. Es wird das Verfahren erläutert und Messdaten an realen Reflektorsegmenten (ca. 170x170cm) gezeigt. Aus diesen Messdaten werden Performanceparameter des Reflektors abgeleitet.

A6
11:45**Full-field macroscopic measurement of specular, curved surfaces with SIM**

Z. Yang, Ph. Dienstbier, A. Bielke, M. Vogel, Ch. Faber, G. Häusler, Institute of Optics, Information and Photonics, University of Erlangen-Nuremberg, zheng.yang@physik.uni-erlangen.de

SIM (Structured-Illumination Microscopy) allows the full-field acquisition of (rough and) specular surfaces at microscopic scale [1]. By using micro-objectives we achieved a measurement uncertainty of 10 nm. We will discuss, how this advantageous principle can be scaled up for a large field („Structured-Illumination Macroscopy“). To accomplish this task, we are confronted with serious technological challenges and with interesting physical questions. First, a big field, high-NA objective with very good correction is necessary to obtain low measurement uncertainty and high angular dynamics. Second, the illumination needs a particularly designed setup to ensure that the entrance pupil is completely filled. We present the first implementation of a macroscopic setup by means of applying commercial photo-objectives (NA 0.95) and an OLED-display. Furthermore, we will discuss the physical and technological problems, such as the achievable local measurement uncertainty and the systematic error caused by the lens aberrations.

[1] C. Kranitzky, C. Richter, C. Faber, M. C. Knauer, G. Häusler: “3D-microscopy with large depth of field”, Proc. DGaO 110, A12 (2009).

Präzisionsmesstechnik/Hyperspectral Imaging

Sitzungsleiter:
B. Dörband, Carl Zeiss SMT GmbH

Raum B

B1
10:30**Mikrostrukturierte Photodioden mit Wellenlängen- und Richtungsselektivität**

M. Will, O. Brodersen, CIS Forschungsinstitut für Mikrosensorik und Photovoltaik GmbH, Erfurt
E.-B. Kley, St. Flehler, Friedrich Schiller Universität Jena, Institut für Angewandte Physik
mwill@cismst.de

Fluoreszenzbasierte Nachweisverfahren bilden eine wesentliche Grundlage in der Bioanalytik und Medizintechnik. Hier besteht Bedarf an Sensoren, die Anregungsquelle, optisches Filterelement, Detektion und Signalverstärkung in einem kompakten Element vereinigen. Sensoren basierend auf integrierter Anregungsquelle, großflächiger Single-Photodiode und dichroitischen Filter stellen eine Lösungsvariante dar. Jedoch ist die Realisierung von steilen Filterkanten problematisch. Ursache hierfür ist eine unvermeidbare Variation des Einfallswinkels auf den Photodioden. Zur Lösung des Problems wurden am Institut für Angewandte Physik spezielle Strukturen auf Basis metallbeschichteter schräger Gitter realisiert und mit dielektrisch beschichteten Photodioden des CiS kombiniert. Resultat sind planare Photodioden mit schmalbandiger hoher Transmission für selektive designte Einfallswinkel. Diese wurden mit einem frequenzverdoppelten DPSS Laser bei einer Wellenlänge von 532nm, sowie Elektronik-Komponenten zu einem kompakten Sensor mit Bauvolumen <0,5 cm³ integriert. Eine Signaltrennung zwischen Anregung und Emission von 1:100000 konnte demonstriert werden.

B2
10:45**Räumlich aufgelöste nichtpixelierte aktive mikrooptische Polarisationsformung**

F. Schaal, M. Wiesner, M. Jetter, R. Rossbach, P. Michel, Ch. Pruss, W. Osten, Institut für Technische Optik (ITO), Universität Stuttgart; S. Weidenfeld, Institut für Halbleiteroptik und Funktionelle Grenzflächen, Universität Stuttgart; J. Stumpe, M. Rutloh, Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung, Potsdam-Golm, schaal@ito.uni-stuttgart.de

Es wird ein System zur nichtpixelierten ortsauflösten Polarisationsformung vorgestellt. Die Polarisationsformung basiert auf einem maßgeschneiderten photoadressierbaren doppelbrechendem Material. Durch ein mikrooptisches Beleuchtungsmodul, mit im roten Spektralbereich emittierenden oberflächenemittierenden Halbleiterlasern (VCSEL) als Strahlquellen und diffraktiven optischen Elementen zur Strahlformung, werden verschiedene Adressierungsmuster erzeugt. Die Strahlformung erfolgt zweistufig. Es wird das Strahlprofil des VCSELs durch eine interne Aperturblende und ein mesaintegriertes DOE geformt. Die weitere Strahlformung erfolgt durch ein externes DOE. Dadurch ist ein kompaktes Beleuchtungsmodul mit mehreren Beleuchtungskanälen realisierbar. Durch Ansteuerung der VCSEL können verschiedene Adressiermuster geschaltet oder überlagert werden. Somit kann die Polarisation räumlich mit verschiedenen umschaltbaren Mustern beeinflusst werden. Anwendungsmöglichkeiten ergeben sich z.B. in der Polarisationsmikroskopie und im objektivintegrierten flexiblen Phasenkontrast.

Optische und optomechanische Mikrosysteme

Sitzungsleiter:

S. Bäumer, Philips Research, Eindhoven

Polarisationsselektive InP MOEMS Filter mit Photonischen Kristallen

Th. Kusserow, R. Zamora, M. Wulf, U. Akcakoca, R. Marklein, B. Witzigmann, H. Hillmer, Universität Kassel, kusserow@ina.uni-kassel.de

Mikrosystemtechnisch hergestellte Fabry-Pérot Filter, bestehend aus InP/Luftspalt Spiegeln und einer Kavität, werden von uns in Hinsicht auf polarisationsselektive Eigenschaften entwickelt. Hierfür wurde zuerst eine einzelne, freistehende InP Schicht untersucht, deren Ergebnisse als Grundlage für das Filterbauelement dienen. Die polarisationsselektive Transmission wird hierbei mit Hilfe der Resonanz geführter Moden erreicht. Die hochbrechende Halbleiterschicht hat die Eigenschaften eines Schichtwellenleiters, der nun mit einer Photonischen Kristallstruktur versehen wird, so daß eine vertikal einfallende Welle ein- und wieder auskoppeln kann. Um die Kopplung der Polarisationskomponenten zu beeinflussen, wird die Symmetrie des Gitters durch elliptische Basiselemente gebrochen. Numerische Berechnungen mit einem leistungsstarken 3D FEM Solver wurden für den Entwurf der Struktur durchgeführt. Herstellung der Filter erfolgt mittels MEMS Technologie, die Photonischen Kristalle werden mit Hilfe einer FIB in eine Hardmaske geschrieben und anschließend durch RIE in die InP Schicht übertragen. Die optische Charakterisierung der Bauelemente zeigt deutliche Polarisationsseigenschaften..

Monolithisches Fertigungskonzept für die kostengünstige Herstellung optischer Mikrosysteme

F. Merchán, K.-H. Brenner, Universität Heidelberg, fernando.merchan@ziti.uni-heidelberg.de

Die heutigen Übertragungssysteme fordern eine kompakte Integration von optischen und elektronischen Mikrosystemen um Datenraten von mehreren hundert Gigabit pro Sekunde erreichen zu können. Kommerziell erhältliche elektronische Systeme wie VCSELs, Lasertreiber, Photodioden und Transimpedanzverstärker sind für bis zu 10 Gbit/s tauglich. Um höhere Datenraten über optische Wellenleiter übertragen zu können, ist eine Parallelübertragung in mehreren Kanälen notwendig. Die Fabrikation von mehrkanaligen optischen Kopplern durch Replikation von Metallmastern hat sich als eine effiziente, präzise und kostengünstige Methode erwiesen. In Hinblick auf Massenproduktion tauchen jedoch zusätzliche und neue Anforderungen auf. Die Herstellungsmethoden aus wenigen einfachen Teilschritten bestehen, die Justierung soll schneller erfolgen und die Fabrikation soll insgesamt kostengünstiger werden. Wir schlagen eine neuartige Methode vor, welche die Integration, Herstellung und Justage von mikrooptischen Bauteilen vereinfacht. Diese Methode berücksichtigt die Möglichkeit zur Automatisierung des Herstellungs- und Justierungsprozesses und ist somit eine kostengünstige Variante.

Optische und optomechanische Mikrosysteme

Sitzungsleiter:

S. Bäumer, Philips Research, Eindhoven

Raum BB5
11:30**Mikrosystem zur Partikelkonzentrationsmessung auf Basis der Talbotinterferometrie**M. Hofmann, R. Kampmann, S. Sinzinger, Technische Universität Ilmenau,
meike.hofmann@tu-ilmenau.de

Die hochempfindliche Messung von Partikelkonzentrationen ist von zentraler Bedeutung, z.B. für Anwendungen in der Umweltsensorik. Wir stellen ein optisches Mikrosystem zur Messung der Partikelkonzentration in fließenden Suspensionen vor, bei dem zur Verbesserung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses gegenüber einer reinen Trübungsmessung, die Anordnung eines Talbotinterferometers angewendet wird. Die durch die Partikel hervorgerufene Störung der Selbstabbildung eines Amplituden- oder Phasengitters wird ausgewertet, um Rückschlüsse auf die Partikelkonzentration zu ziehen. Das Streuverhalten von Partikeln, die viel größer als die verwendete Wellenlänge sind, kann durch die Beugung an ihrem geometrischen Schatten hinreichend gut beschrieben werden. Wir modellieren die Versuchsanordnung durch die kombinierte Fresnelbeugung an einem optischen Gitter und einem undurchsichtigen Partikel und zeigen auf, welche Messsignale aus dieser Anordnung extrahiert werden können. Es erfolgt ein Vergleich mit experimentellen Ergebnissen. Die Abhängigkeit des Messsignals von der Partikelgröße und dem Aufenthaltsort des Partikels im Probenvolumen des Mikrosystems wird diskutiert.

B6
11:45**FLORES – Entwicklung eines neuartigen Mikrosensors zur Fluoreszenzdetektion in fluidischen Systemen**A. Zepp, F. Bitti, B. Greiner, Ch. Müller, H. Mathis, Fraunhofer FIT BioMOS, Sankt Augustin; M. Will, O. Brodersen, CIS Forschungsinstitut für Mikrosensorik und Photovoltaik GmbH, Erfurt, Andreas.Zepp@FIT.Fraunhofer.de

Lab-on-a-Chip Systeme gewinnen in vielen Anwendungsbereichen der biochemischen Analyse zunehmend an Bedeutung. Ein wichtiger Grund hierfür ist die kompakte Bauform der Mikrofluidik-Chips, welche den mobilen Einsatz am „Point-of-Care“ ermöglicht. Optische Sensoreinheiten stellen jedoch oft limitierende Faktoren für die Miniaturisierung der Systeme dar. Der empfindliche Nachweis von Fluoreszenzereignissen bedeutet hohe Anforderungen für Beleuchtung und Detektion. Mit diskreten Komponenten ist die Optimierung der Optik ein meist unzureichender Kompromiss zwischen Qualität und Baugröße. Beim FIT wurde deshalb das Design für einen neuartigen Mikrosensor zur Fluoreszenzdetektion in fluidischen Systemen entwickelt. Hierbei sind sowohl die Anregungsquelle als auch der Fluoreszenzdetektor mit entsprechender Signalvorverarbeitung in einem Modul integriert. Durch Simulation der optischen Eigenschaften wurde der Aufbau des Mikrosensors optimiert und so - die Bestrahlungsstärke im Reaktionsbereich erhöht, - die Detektionseffizienz gesteigert - sowie die Rauschteile (Streulicht, optisches Übersprechen) reduziert werden. Die hohe Nachweisempfindlichkeit des Sensors wurde in Experimenten nachgewiesen.

12:00 – 13:30 Uhr **Mittagspause**

Optische und optomechanische Mikrosysteme

Sitzungsleiter:

S. Bäumer, Philips Research, Eindhoven

Variable Beleuchtungssysteme - Konzepte und Limitationen am Beispiel Lithographie
A. Herkommer, Universität Stuttgart, Institut für Technische Optik,
herkommer@ito.uni-stuttgart.de

Beleuchtungssysteme sind das Bindeglied zwischen den meist unveränderbaren Eigenschaften der Lichtquelle und den gewünschten Anforderungen am Beleuchtungsort. Insbesondere bei Systemen die eine möglichst hohe Effizienz, also geringe Verluste erfordern, ergeben sich durch die Lichtquelleneigenschaften verschiedenartige Randbedingungen an das optische Design und die Auswahl von Misch- und Optikkomponenten. Systeme mit variablen optischen Eigenschaften stellen dabei besonders hohe Anforderungen an den Beleuchtungs-Designer. Am Beispiel von variablen Beleuchtungssystemen der optischen Lithographie werden Systemkomponenten diskutiert sowie der Einfluss der Lichtquelle auf das Systemkonzept verdeutlicht. Die Erkenntnisse lassen sich auf andere Anwendungsbereiche wie zum Beispiel strukturierte Beleuchtung oder Materialbearbeitungssysteme übertragen.

14:00 - 14:15 Uhr **Kaffeepause**

Modellierung und Simulation optischer Systeme

Sitzungsleiter:

S. Sinzinger, Technische Universität Ilmenau

A7
14:15**Minimierung chromatischer Passemessfehler bei kurzkohärenter Interferometrie**

V. Weidenhof, M. Altenberger, Carl Zeiss SMT, Oberkochen; B. Dörband, Carl Zeiss AG, Oberkochen, v.weidenhof@smt.zeiss.com

Zur interferometrischen Passemessung planparalleler Prüflinge eignen sich kurzkohärente Lichtquellen großer spektraler Linienbreite wie z.B. Superlumineszenz-Dioden. Eine Schwierigkeit aufgrund der endlichen Kohärenzlänge der Lichtquelle (einige 10 μm) ist dabei der korrekte Abgleich der optischen Weglängen in Referenz- und Prüflingsarm des Interferometers. Insbesondere bei der unkompensierten Messung nicht planer Prüflinge führt eine Abweichung vom idealen Abgleich zu systematischen Fehlern bei der Passemessung. Die Messfehler rühren daher, dass die Lichtquelle ein typischerweise einige 10 nm breites Spektrum emittiert, bei der Phasenauswertung aber eine feste Wellenlänge (Schwerpunkt oder Zentrum des Spektrums) angenommen wird. Dieser Effekt kann genutzt werden, um den optimalen Abgleich von Referenz- und Prüflingsarm experimentell zu bestimmen und damit systematische Fehler bei der Passemessung zu minimieren. Es wird die Ursache der systematischen Passemessfehler und ihre Auswirkung an einem Beispiel dargestellt und beschrieben, wie durch gezielte Verstimmung des Interferometers der ideale Abgleich von Referenz- und Prüflingsarm experimentell ermittelt werden kann.

A8
14:30**Frequenzkamm Beleuchtung für Fizeau-Interferometer zur Ausschaltung von Störinterferenzen**

J. Schwider, Institut für Optik, Information und Photonik, Universität Erlangen-Nürnberg, johannes.schwider@physik.uni-erlangen.de

Beim Testen von optischen Flächen mit einem Zweistrahlinterferometer treten häufig störende Interferenzmuster auf, die hauptsächlich durch Reflexe von Grenzflächen im Strahlengang auftreten. Hier soll ein Verfahren besprochen werden, welches mit der Beleuchtung eines Fizeau-Interferometers mit einem gefilterten Frequenzkamm [1] arbeitet. Dabei wird breitbandiges Licht mit einem Fabry-Perot gefiltert. Es kann gezeigt werden, dass dabei durch passende Wahl der Cavity-Längen von FP und Fizeau kontrastreiche Zweistrahlinterferenzen erzeugt werden können, die frei sind von den oben angeführten Phasen-Störungen. Insbesondere trifft das auch auf nicht eliminierbare Reflexe beispielsweise von einer Planparallel-Platte bei Homogenitätstests zu. Mit der Frequenzkammtechnik lässt sich bei Homogenitätstest [2] ohne die Anwendung von Immersionsflüssigkeiten eine Reduktion der notwendigen Relativmessungen von 4 auf 3 Messschritte erreichen.

[1] J. Schwider; "Superposition fringes for profiling applications", Proc. SPIE 6616 p.59, (2007).

[2] J. Schwider, et al.; Appl.Opt. 24, 3059-3061 (1985)

Präzisionsmesstechnik/ Hyperspectral Imaging

Sitzungsleiter:

E. Manske, Technische Universität Ilmenau

Raum A

A9

14:45

Kohärenz im Mikrometerbereich, Messung und Anwendung

P. Petruck, R. Riesenberg, M. Kanka, U. Hübner, R. Kowarschik, Institut für Photonische Technologien e.V., Jena, paul.petruck@ipht-jena.de

LEDs, Halogenlampen und Quecksilberdampflampen wurden mit einem erweiterten Young-Interferometer vermessen. Mittels Nanohole Array wurden Vielfach-Interferenzen erzeugt und die räumliche Kohärenzlänge anhand des Interferenzkontrastes und der Spotgröße im Bereich von 5 ... 50 μm eingestellt und vermessen. Die partiell kohärente Beleuchtung reicht für eine mikroskopische Bildgebung mit Interferenzen aus. Sie hat sogar erhebliche Vorteile, weil Speckle und störende Interferenzen fast vollständig vermieden werden. Es werden speckle-freie holographische Mikroskopbilder präsentiert.

A10

15:00

Table-Top Streulichtmesssystem ALBATROSS-TT

A. von Finck, M. Hauptvogel, A. Duparré, Fraunhofer IOF, Jena, alexander.finck@iof.fraunhofer.de

Streulicht-basierte Verfahren zeichnen sich durch hohe Robustheit, Sensitivität und Schnelligkeit aus und sind daher besonders zur effizienten Analyse von Oberflächen, Materialien und Beschichtungen geeignet. Dem dringenden Bedarf an einem Table-Top Streulichtmesssystem für den Einsatz in Forschung und Entwicklung (Substrat Finishing, Beschichtung, etc.) wurde mit dem am IOF entwickelten System ALBATROSS-TT entsprochen. Durch geringe Abmaße ($<1\text{ m}^3$) sowie vollständige Einhausung wird der flexible Einsatz nahe am Prozess möglich. Ein Dynamikbereich von 13 Größenordnungen bei 532 nm in Kombination mit einem niedrigen Hintergrundniveau von $2\text{E}-08\text{ 1/sr}$ erlaubt die Charakterisierung von technischen bis hin zu superpolierten optischen Oberflächen mit rms-Rauheiten $<0,1\text{ nm}$. Eine Messunsicherheitsbetrachtung des Systems wird vorgestellt. ALBATROSS-TT wurde mit einem 3D-Detektorpositioniersystem ausgestattet, das detailliertere Untersuchungen wie die Anisotropieanalyse diamantgedrehter Oberflächen oder die Charakterisierung komplexer Streulichtverteilungen von z. B. Gittern, Schichtsystemen und Edelsteinschliffen ermöglicht.

Präzisionsmesstechnik/ Hyperspectral Imaging

Sitzungsleiter:

E. Manske, Technische Universität Ilmenau

A11
15:15**Fourier-Scatterometrie zur Charakterisierung von sub-lambda Zwei-Photonen-Polymerisations-strukturierten Kreuzgittern**

V. Ferreras Paz, S. Peterhänsel, K. Frenner, W. Osten, Institut für Technische Optik (ITO) Universität Stuttgart; A. Ovsiyanikov, K. Obata, B. N. Chichkov, Laser Zentrum Hannover e.V. Hannover, ferreras@ito.uni-stuttgart.de

Die Scatterometrie hat sich als eine der wichtigsten Methoden zur Prozesskontrolle in der Halbleiterindustrie etabliert. Die präzise und schnelle optische Charakterisierung von periodischen sub-lambda Strukturen ist aber auch in anderen Bereichen wichtig. Wir stellen die Methode der Fourier-Scatterometrie vor und zeigen ihre Anwendung zur Charakterisierung von periodischen sub-lambda Kreuzgittern aus photosensitivem Material, die mittels Zwei-Photonen-Polymerisation hergestellt wurden. Mit Hilfe von Simulationen wird zunächst die Empfindlichkeit der Methode auf verschiedene Strukturparameter untersucht. Dabei wird das am Institut für technische Optik entwickelte Simulationstool MICROSIM zur rigorosen Simulation der Beugung an den Strukturen verwendet. Ebenfalls werden verschiedene Messkonfigurationen und Abwandlungen der Fourier-Scatterometrie auf ihre Empfindlichkeit untersucht, u.a. die Erweiterung der Methode durch die Verwendung von Weisslicht sowie der Linnik-Interferometrie. Die experimentelle Realisierung sowie erste Vergleiche von Simulation und Messung in Hinblick auf die Rekonstruktion der gesuchten Strukturparameter werden vorgestellt.

A12
15:30**Strukturbreitenmessungen an einer phasenschiebenden Photomaske mittels verbessertem DUV-Scatterometer**

B. Bodermann, M. Wurm, St. Bonifer, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, J. Richter, Advanced Mask Technology Center GmbH, Dresden
rennzwerg@gmx.de

Optische Scatterometer sind schnelle und nichtinvasive Messverfahren und daher sehr gut geeignet zur Charakterisierung dimensioneller Struktureigenschaften, welche essentiell sind zur Evaluierung der Abbildungsqualität einer Photomaske im Lithographieprozess. In der PTB wurde für Untersuchungen an Photomasken ein goniometrisches DUV-Scatterometer entwickelt und aufgebaut [1]. Es wird standardmäßig bei einer Wellenlänge von 193 nm betrieben. Dynamikbereich und Linearität der Detektoren dieses Systems wurden kürzlich mittels eines neuen Detektorsystems und einer neuartigen Signalverarbeitung verbessert. Mit diesem System wurden Messungen von Strukturbreiten auf einer phasenschiebenden MoSi-Photomaske durchgeführt. Es wurde damit insbesondere die Variation nominell gleicher Strukturbreiten in verschiedenen Feldern auf der Maske charakterisiert. Die Ergebnisse dieser Messungen werden präsentiert und verglichen mit Messergebnissen, die am AMTC mittels eines kommerziellen spektroskopischen Scatterometers (n&k 5700-CDRT) sowie eines elektronenmikroskopischen Strukturbreitenmesssystems erzielt wurden.

[1] M. Wurm et al., Rev. Sci. Instrum. 81 (2010), 2, 023701-1-023701-8

Präzisionsmesstechnik/ Hyperspectral Imaging

Sitzungsleiter:

E. Manske, Technische Universität Ilmenau

The Light Cube – Representing Light in Optical Modeling

F. Wyrowski, Friedrich-Schiller-Universität Jena; J. Tervo, J. Turunen, P. Vahimaa, University of Eastern Finland, frank.wyrowski@uni-jena.de

There are numerous mathematical and physical descriptions of light that usually depend on the application or element to be used. For example, it is quite typical to assume ray model when designing conventional lens optics for photography, so-called scalar model when analyzing diffraction from e.g. double-slit aperture, and electromagnetic model when analyzing resonance-domain diffractive elements. Thus, the chosen model is very often based on the type of optical element designed or modeled. However, in system modeling a more systematic light representation is of concern in particular if one is dealing with a partially coherent light source. We address the systematic description of light fields, including partially polarized and partially coherent light fields. The description allows also strictly monochromatic fields as well as deterministic and non-deterministic pulses. We introduce a geometrical illustration of the systematic, named The Light Cube that offers a convenient way to characterize and to employ the field representation. We also discuss how the introduced systematic can be applied to reduce the computational effort in numerical modeling.

Non-Sequential Field Tracing

M. Kuhn, LightTrans VirtualLab UG, Jena; F. Wyrowski, Friedrich-Schiller-Universität Jena, kuhn@lighttrans.com

Field Tracing basiert auf der Berechnung harmonischer Felder und verallgemeinert damit Ray Tracing, das Strahlenbündel nutzt. Insbesondere tragen harmonische Felder zusätzliche Informationen über das zu simulierende Licht innerhalb eines optischen Systems. Dadurch können beispielsweise Effekte wie Beugung, Interferenz und Polarisation sehr viel genauer simuliert werden. In unserem Vortrag stellen wir das Konzept des nicht-sequentiellen Field Tracing vor, das Mehrfachreflexionen zwischen optischen Grenzflächen berücksichtigt. Die Konvergenz-analyse basiert auf einer Neumann-Reihe und führt unter Zusatzannahmen auf den sequentiellen Fall zurück. Der resultierende Simulationsalgorithmus besteht aus einer Kombination von elementaren Propagationsschritten, die die Wechselwirkung zwischen jeweils zwei Grenzflächen beschreiben. Es werden Propagationsoperatoren für homogene Medien und für den Durchgang durch Grenzflächen benötigt. Entsprechend der Konzepte des Unified Optical Modeling können lokal angepasste Operatoren verwendet werden, um die physikalischen Fehler zu minimieren. Wir zeigen verschiedene Beispiele und Konvergenzergebnisse unter Verwendung der Software VirtualLab.

Modellierung und Simulation optischer Systeme

Sitzungsleiter:
W. Vollrath, KLA-Tencor MIE GmbH

Raum B

B9

14:45

Aspekte der Lichtausbreitung zwischen verkippten EbenenK.-H. Brenner, Universität Heidelberg, brenner@ziti.uni-heidelberg.de

Nahezu alle skalaren und vektoriellen Methoden der Lichtausbreitung betrachten die Propagation zwischen planparallelen Ebenen. In der Praxis benötigt man jedoch auch eine Lichtausbreitung zwischen verkippten Ebenen, die entweder gewollt im Fall von lichtablenkenden Elementen sowie in der Scheimpflug-Geometrie oder ungewollt als Folge von mechanischen Toleranzen in der Fertigung auftritt. Der Vortrag gibt einen Überblick über die Entwicklung der theoretischen Behandlung dieser Problematik und stellt eine neue, allgemeine Beschreibung vor. Als Alternative zur Beschreibung mit Hilfe der Euler-Winkel wird in dieser Beschreibung von Daten ausgegangen, die dem Anwender direkt zur Verfügung stehen. In der praktischen numerischen Umsetzung spielen die Aspekte der Abtastung und der Implementierung des Propagators eine wichtige Rolle, die zu Bedingungen für den maximalen Kippwinkel führen. Abschließend wird die Anwendung der Beschreibung anhand einiger praktischer Beispiele vorgestellt.

B10

15:00

Verallgemeinerte Sinusbedingung für ausgedehnte ObjekteJ. Wesner, J. Heil, H.-M. Heuck, Leica Microsystems CMS GmbH, Wetzlar, joachim.wesner@leica-microsystems.com

Üblicherweise wird angenommen, dass die Abbesche Sinusbedingung die comafreie Abbildung ausgedehnter Objekte sicherstellt. Eine genauere Analyse zeigt allerdings, dass diese Bedingung nur für infinitesimal kleine Objekte exakt ist und im allgemeinen „off-axis“-Fall durch eine allgemeinere Form ersetzt werden muss, die sich auch aus der Eikonal-Theorie der optischen Abbildung [1] ableiten lässt.

Daraus folgen einige interessante, insbesondere bei hohen Aperturen merkwürdige, Konsequenzen wie u. a.:

- + Für jeden Objekt- und den zugehörigen Bildpunkt existieren eigene „Hauptkugel“-Paare
- + Die Fourierebene eines hochaperturigen Objektivs ist zwangsweise aberriert
- + Die Telezentrik wird für nicht-axiale Bündel aus der vorderen Brennebene verletzt, diese führen zu unsymmetrischen Büscheln in der hinteren Brennebene

[1] A. Walther, „The Ray and Wave Theory of Lenses“, Cambridge University Press, 1995

Modellierung und Simulation optischer Systeme

Sitzungsleiter:
W. Vollrath, KLA-Tencor MIE GmbH

Raum B

B11
15:15**Simulation des Feldes eines ultrakurzen Pulses im Fokus eines hochaperturigen optischen Systems**

N. Lindlein, A. Webster, W. Iff, Institut für Optik, Universität Erlangen-Nürnberg
norbert.lindlein@physik.uni-erlangen.de

Ultrakurze optische Pulse können zur Erzeugung extrem hoher Feldstärken genutzt werden, wenn sie mit einem hochaperturigen optischen System fokussiert werden. In realen optischen Systemen müssen dazu aber sowohl monochromatische als auch chromatische Fehler berücksichtigt werden. Bei hoher numerischer Apertur ist außerdem die Polarisation des einfallenden Pulses eine weitere wichtige Größe. Im Rahmen des Vortrags wird ein Simulationsverfahren vorgestellt, das mit Hilfe der Zerlegung in monochromatische Fourier-Komponenten die elektrische und magnetische Feldstärke eines Pulses im Fokus eines hochaperturigen optischen Systems erlaubt, indem das Debye-Integral und Raytracing zur Berechnung der einzelnen Fourier-Komponenten verwendet werden. Bedingt durch die Berechnungsmethode ist dieses Verfahren auf lineare Medien beschränkt, wobei in der Nähe des Fokus eine Kombination mit anderen Verfahren denkbar ist, so dass dort auch nichtlineare Effekte betrachtet werden könnten. Das Verfahren und erste Simulationsergebnisse werden vorgestellt.

B12
15:30**Optische Systeme ohne Rotationssymmetrie: Bestimmung von Bildlage und Bildorientierung**

M. Hillenbrand, B. Mitschunas, S. Sinzinger, Technische Universität Ilmenau; R. H. Abd El-Maksoud, Ain Shams University, Egypt, matthias.hillenbrand@tu-ilmenau.de

Bei der Abbildung mit rotationssymmetrischen optischen Systemen lässt sich die Lage der Gauß'schen Bildebene direkt über paraxiale Beziehungen ermitteln. Werden jedoch optische Systeme ohne Rotationssymmetrie betrachtet, muss ein anderer Ansatz gewählt werden. In diesem Beitrag diskutieren wir unterschiedliche Strategien zur Ermittlung der Lage und Orientierung der Bildebene in verallgemeinerten optischen Systemen ohne Rotationssymmetrie. Hierzu werden nach der Definition eines anstelle der optischen Achse nötigen Referenzstrahls sowohl numerische als auch analytische Ansätze untersucht. Der numerische Ansatz basiert auf einer vektoriellen Strahldurchrechnung für verschiedene Objektpunkte, wobei die gesuchten Größen über die Approximation der berechneten Bildpunkte mit einer Ebene bestimmt werden. Als mögliche Ausgangspunkte für eine analytische Bestimmung der Bildebenenlage und -orientierung dienen die astigmatische Strahldurchrechnung und die für schiefe Abbildungen verwendete Scheimpflugbedingung.

15:45 Uhr **Posterpräsentation/ Kaffeepause**

Modellierung und Simulation optischer Systeme

Sitzungsleiter:
W. Vollrath, KLA-Tencor MIE GmbH

A13
17:15**Ermittlung der Übertragungsfunktion einer auf Glasfiltern basierenden Multispektralkamera**

B. Ruggaber, F. Schmidt, Graduiertenschule Bildverarbeitung und Bildinterpretation der TU Ilmenau; U. Krüger, TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, Ilmenau, benjamin.ruggaber@tu-ilmenau.de

Eine Multispektralkamera (MK) soll als Messmittel in der Farbmess-technik, eingesetzt werden. Diese MK besteht im Wesentlichen aus einer Detektormatrix, einem Standardobjektiv und Filtern welche sich vor und hinter dem Standardobjektiv befinden. Die Verwendung als Messmittel, setzt eine genaue Kenntnis der Transmission der Filter, voraus. Bei der Verwendung von Filtern in einer MK, erweist sich ein vom Einfallswinkel des Lichts abhängiges Transmissionsverhalten der Filter als problematisch. Diese Problematik resultiert aus der Tatsache, dass sich ein Strahlkegel aus einer Vielzahl an unterschiedlichen Strahlen zusammensetzen lässt, welche alle unterschiedliche Einfallswinkel zum Lot des Filters bilden. Damit ist es schwierig eine wirksame Transmission des Filters für ein entsprechendes Pixel zu bestimmen. Unter Verwendung eines geometrischen Modells, wird die wirksame Transmission der Filter, für jeden Pixel der Detektormatrix ermittelt. Dies geschieht unter Zuhilfenahme eines Histogramms welches die Einfallswinkelhäufigkeit ausgewählter Lichtstrahlen beinhaltet, sowie der gemessenen kollimierten Transmission der Filter. Das geometrische Modell wird experimentell überprüft.

A14
17:30**Spectral Imaging revolutioniert den Markt der industriellen Qualitätsmesstechniken**

O. Grass, inno-spec GmbH, Oliver.Grass@inno-spec.de

Spektrale Messmethoden, die präzise und effizient die Bestimmung chemischer Zusammensetzungen von Werkstoffen und Substanzen ermöglichen, sind in der Verfahrenstechnik und Qualitätssicherung wichtig. So hat inno-spec weitere spektrale Messmethoden des Spectral Imaging Systems für VIS und NIR erweitert. Das neue System bestehend aus Transmissionspektrographen und einer fest verbundenen dauerjustierten Kamera für den sichtbaren und den NIR Bereich (bis $1,7\mu\text{m}$ und $2,2\mu\text{m}$) ist für hohe Anforderungen konzipiert worden. Dieses Spectral Imaging System kann in unterschiedlichsten Branchen eingesetzt werden, in der Qualitätskontrolle, im Agrar- und Lebensmittelbereich, im Recycling oder in der Prozesskontrolle und -Messtechnik. Diese Technik erlaubt es, Materialien nach Klassen zu quantifizieren, wie dies beim Sortieren und Recycling üblich ist, als auch zu qualifizieren, wie z.B. bei Konzentrationen von Stoffgemischen oder das Nachweisen von bestimmten Mengen an Wirkstoffen in der Pharmazie. Der Vortrag wird sich mit der Technologie dieses neuen optoelektronischen Verfahrens sowie mit seinen branchenübergreifenden Einsatzmöglichkeiten befassen.

Präzisionsmesstechnik/Hyperspectral Imaging

Sitzungsleiter:

A. Jacobsen, OpSys Project Consulting

A15
17:45**Einsatz von bidirektionalen Mikrodisplays in der Messtechnik**

C. Großmann, F. Perske, S. Zwick, St. Riehemann, G. Notni, A. Tünnermann, Fraunhofer IOF/
FSU Jena, constanze.grossmann@iof.fraunhofer.de

Konventionelle optische Messsysteme basieren auf separierter Projektions- und Kameratechnik. Der Einsatz von neuartigen opto-elektronischen Bauelementen – sogenannte bidirektionale Mikrodisplays (BiMid) – verspricht ein großes Potential zur Miniaturisierung von Messsystemen. Diese Elemente ermöglichen die Kombination von OLED zur Lichterzeugung sowie Photodioden (PD) zur Detektion auf einem äußerst kompakten Bauelement. Eine erste Anwendung soll hierbei ein Positions- und Neigungssensor basierend auf dem Prinzip eines „invers“ konfokalen Sensors darstellen. Hierbei wird das von den OLED-Pixeln emittierte Licht in die Fokusebene abgebildet und die Reflexion von den integrierten PD detektiert. Befindet sich die Messebene im Fokus, so kann keine Energie detektiert werden, da das Licht in sich selbst auf die OLED-Pixel zurückreflektiert wird. Bei axialer Verschiebung der Messebene wird eine Energie detektiert. Der Einsatz von BiMIDs ermöglicht somit einen kompakten konfokalen Flächensensor. Systemkonzept sowie Realisierung werden vorgestellt.

A16
18:00**Multisensortechnologie mit der Nanopositionier- und Nanomesmaschine**

E. Manske, G. Jäger, T. Hausotte, Technische Universität Ilmenau,
eberhard.manske@tu-ilmenau.de

Den Anforderungen an die Präzisionsmesstechnik werden, durch den Fortschritt der Präzisionsfertigungstechnologien, wie z.B. der Optiktechnologie und der Halbleitertechnologie bestimmt, zunehmend komplexer. Die Nanopositionier- und Nanomesstechnik stellt hier ein leistungsfähiges Werkzeug dar. Durch die Kombination von optischen Punkt- wie auch Array-Sensoren, von taktilen Messtastern und Rastersondentechniken können komplexe multiskalige Messaufgaben mit Nanometerpräzision effektiv gelöst werden. Die Konsistenz der Messungen verschiedener Antastprinzipien und Sensoren ist dabei von immenser Bedeutung für die Weiterentwicklung der Nanomesstechnik. Auf der Basis eines Laserfokussensors konnten erste Ansätze für ein Multisensorkonzept gezeigt werden. Die Anwendung auf die großflächige Messung (25 x 25 mm²) von <100 nm Strukturen durch eine Kombination von optischer Mikroskopie, nanometergenaue Stitching-Technologie, daran anschließender automatischer Segmentierung der Oberflächenmerkmale, gefolgt von einer gezielten Rastersondenmessung in ausgewählten kleinen Bereichen demonstriert die Leistungsfähigkeit.

Präzisionsmesstechnik/Hyperspectral Imaging

Sitzungsleiter:

A. Jacobsen, OpSys Project Consulting

Automatisches multiskaliges Messsystem zur Inspektion von mikro-elektro-mechanischen Systemen

W. Lyda, A. Burla, T. Haist, W. Osten, Institut für Technische Optik (ITO) Universität Stuttgart, lyda@ito.uni-stuttgart.de

Die schnelle und automatisierte Prüfung ausgedehnter Objekte mit qualitätsrelevanten Merkmalen im Mikrometerbereich ist eine messtechnische Herausforderung. Durch die Kombination von Sensoren mit unterschiedlichen Auflösungsskalen in einem Multisensor-Inspektionssystem ist es möglich, Inspektionsvorgänge deutlich zu beschleunigen. Der Nachteil der meisten Multisensor-Antaststrategien ist die starre Abfolge der Einzelmessungen. Änderungen im Messobjekt-design, der Größe oder der Lage des Objekts im Messfeld erfordern häufig eine Überarbeitung des Inspektionssystems. Besonders bei Kleinserien und in der Prozessentwicklung wird aber eine deutlich höhere Flexibilität benötigt. Diese Flexibilität kann durch eine sequenzielle multiskalige Anordnung der Sensorskalen, einer automatischen Sensorauswahl und eine merkmalsbezogene Sensorkommunikation zwischen den Skalen erreicht werden. In diesem Beitrag präsentieren wir am Beispiel der Inspektion von MEMS-Wafern den aktuellen Stand eines automatischen multiskaligen Messsystems und der wichtigsten Komponenten: das Assistenzsystem zur aufgabenspezifischen Sensorauswahl, die Sensormodule zur Sensorparametrisierung und die Auswertalgorithmen.

Präzisionsmesstechnik/Hyperspectral Imaging

Sitzungsleiter:

A. Jacobsen, OpSys Project Consulting

Raum BB13
17:15**Dispersion von optischem Glas im Infrarot**P. Hartmann, SCHOTT AG, Mainz, peter.hartmann@schott.com

Es wird untersucht, wie gut aus vorhandenen Prüfdaten in sichtbarem Licht Brechzahlen für optische Gläser im nahen Infrarot bis 1700 nm berechnet werden können. Die Basis bilden eine große Menge von Produktionsdaten gemessen mit V-Block-Refraktometern mit eingeschränktem Wellenlängenbereich bis 1014 nm und Messdaten des SCHOTT-Präzisionsrefraktometers URIS über den maximal möglichen Wellenlängenbereich bis 2325 nm. Für ausgewählte Glasarten werden die möglichen Dispersionsverläufe anhand von typischen Fällen vorgestellt. Häufigkeitsverteilungen zeigen wie die relativen Anteile der jeweiligen Verlaufstypen sind. Anhand der Präzisionsdaten wird simuliert, wie gut IR Brechzahlen über geeignet definierte relative Teildispersionen berechenbar sind.

B14
17:30**Vergrößerung der Schärfentiefe einer Abbildungsoptik durch gezielte Einführung eines Farblängsfehlers**E. Langenbach, FISBA OPTIK, St. Gallen, Schweiz, eckhard.langenbach@fisba.ch

Bei Abbildungsoptiken für die industrielle Bildverarbeitung sind oft widersprüchliche Anforderungen zu erfüllen: Eine große Schärfentiefe ist nur mit kleinen Aperturwinkeln erreichbar, während eine gute Bildschärfe große Aperturwinkel erfordert. Kleine Details in einem tiefen Objektraum lassen sich abbilden, indem man mehrere Bilder mit unterschiedlicher Fokusslage aufnimmt. Bei zeitkritischen Anwendungen verbietet sich jedoch die sequentielle Aufnahme der Bilder. Die hier vorgestellte Optik ermöglicht die gleichzeitige Aufnahme von drei Objektebenen, indem man den Sensor einer Farbkamera mit einer Optik mit einem gezielt angepassten Farblängsfehler kombiniert. Die aufgenommenen Bilder werden in drei Farbauszüge zerlegt, die jeweils eine eigene Ebene im Objektraum scharf darstellen. Dabei geht zwar die Anzahl der nutzbaren Pixel zurück, aber im Vergleich zu einer Einzelaufnahme erreicht man bei gleicher Auflösung mehr als die doppelte Schärfentiefe. Alternativ kann man bei gleicher Gesamtschärfentiefe mit einem über 50% größeren Aperturwinkel und entsprechend höherer Auflösung arbeiten.

B15
17:45**Zoomoptik für Annäherungssensoren im Weltall**St. Kirschstein, F. Kolb, Jena-Optronik GmbH, Jena, Steffen.Kirschstein@jena-optronik.de

Ziel der Untersuchungen war die Analyse der Möglichkeiten und Risiken der optischen Zoomtechnik unter Weltraumbedingungen für robotische Anwendungen. Die allgemeinen Genauigkeitsanforderungen an ein Stereokamerasystem wurden ausgehend von verschiedenen robotischen Anwendungen im Detail analysiert. Diese sind sehr hoch, insbesondere bezüglich der Messgenauigkeit. Dabei dominiert der Fehler der Entfernungsmessung gegenüber den Fehlern der Positionsbestimmung. Die Analyse der Genauigkeitsanforderungen an ein Stereokamerasystem wird anhand des Fehlers der Entfernungsmessung dargestellt. Zur Anwendung kommt dabei ein Pinhole-Modell mit virtueller Bildebene. Ergebnisse von optisch-mechanischen Designlösungen werden vorgestellt. Diese wurden sowohl aus verschiedenen kontinuierlich verstellbaren Zoom Ansätzen, als auch aus sehr stabilen 3 und 4 stufigen Sehfeldwechslern abgeleitet. Letztere ermöglichen eine Robustheit, die mit Fixfokusoptiken vergleichbar ist. Es wurden optische Lösungen von 10fachem Zoom, F# 4-10 und für moderne APS Detektoren bis zu einer FOV von 70° (2s) entwickelt.

Modellierung und Simulation optischer Systeme

Sitzungsleiter:
K.-H. Brenner, Universität Heidelberg

Optische Äquivalent-Modelle für das menschliche Auge hinsichtlich Laserbehandlungen

K. Frey, M. Palme, St. Riehemann, G. Notni, Fraunhofer IOF, Jena,
katharina.frey@iof.fraunhofer.de

Da für Laserbehandlungen am Auge Vorversuche aus humanitären Gründen nicht möglich sind und meist nicht alle benötigten Informationen zur Verfügung stehen, ist in diesem Fall eine äquivalente Modellierung notwendig. Diese Modelle müssen mit der Behandlungssituation vergleichbar sein, damit sie durch die anschließenden Vorversuche verifiziert werden können und aussagekräftige Daten über die optischen Parametern liefern kann. Im Fall der Laserbehandlung am menschlichen Auge wird ein Äquivalentmodell eines Minischweineauges optisch simuliert. Mit den Simulationsdaten, den Ergebnissen aus den realen Laserversuchen an den Minischweinen und dem Vergleich mit dem simulierten humanen Augenmodell können Erkenntnisse über eine Laserbestrahlung am menschlichen Auge gewonnen werden. Für eine Simulation des Streulichtverhaltens unterschiedlicher Flächen innerhalb des optischen Systems wurde ebenfalls ein Modell entwickelt und diese Ergebnisse mit den durchgeführten Laserversuchen verglichen, um so die Modellierung zu verifizieren und dessen Grenzen zu bestimmen.

Funduskamera zur berührungslosen Bildgebung und retinalen Gefäßanalyse in der Ratte

D. Link, B. U. Seifert, Technische Universität Ilmenau; C. Strohmaier, H. A. Reitsamer, Paracelsus Universität Salzburg, Österreich; W. Vilsner, Imedos Systems UG, Jena
dietmar.link@tu-ilmenau.de

Vorgestellt wird das Optikdesign für eine Funduskamera zur berührungslosen Fundusbildgebung und zur Messung der retinalen Gefäßantwort in der Ratte. Für das Anwendungsbeispiel Dynamische Gefäßanalyse werden Ergebnisse einer Baseline-Messung präsentiert. Das Optikdesign erfolgte mit ZEMAX. Die optischen Komponenten für die Beleuchtung und Beobachtung wurden in einem aus Standardkomponenten bestehenden mechanischen Aufbau integriert. Die Beleuchtung wurde ausgehend von einer 50W-Xe-Lampe, einem Bandpassfilter (560nm \pm 15nm) für maximalen Gefäßkontrast und einen Flüssigkeitslichtleiter realisiert. Das Beobachtungsfeld der Funduskamera betrug 30°. Die Bildaufnahme als auch die retinale Gefäßanalyse erfolgten mittels einer CCD-Kamera bei 25Hz. Die dynamische Gefäßanalyse wurde per Standard-Software (RVA, Imedos Systems UG, Jena) durchgeführt. Für eine braune Ratte (*Rattus norvegicus*) wurde eine 7-minütige Baseline-Messung der Gefäßdurchmesser für ausgewählte Gefäßabschnitte eines Arterien-Venen-Paars aufgezeichnet. Für die Vene konnten 45 μ m \pm 0,27 μ m (+/-0,61%) und für die Arterie 32 μ m \pm 0,27 μ m (+/-0,86%) gemessen werden.

Modellierung und Simulation optischer Systeme

Sitzungsleiter:
K.-H. Brenner, Universität Heidelberg

Array of Tunable Complex Amplitude Filters for Extended Depth of FieldJ.Ojeda-Castañeda, University of Guanajuato, jorge_ojedacastaneda@yahoo.com

Certain nonconventional masks are able to reduce the influence of focus errors on the Modulation Transfer Function (MTF). In this manner one can extend the depth of field of an optical system [1-3]. When extending the depth of field, there are two main challenges. First, if one wishes to preserve lateral resolution (associated to the full pupil aperture), then one avoids the trivial solution of closing down the pupil. Second, if one wishes to preserve light gathering power, then one must use phase-only masks.

Here, we propose the use of a pair of optical arrays for generating an MTF with low sensitivity to focus errors and with reduced oscillations [4]. The proposed arrays preserve lateral resolution and exhibit a stable MTF as compared with previously proposed filters for controlling focal length and for extending the depth of field.

- [1] J. Ojeda-Castañeda, R. Ramos, and A. Noyola-Isgleas, *Appl. Opt.*, Vol. 27, 2583 (1988).
- [2] Edward R. Dowski, Jr., and W. Thomas Cathey, *Appl. Opt.*, Vol. 34, 1859 (1995).
- [3] J. Ojeda-Castañeda, J. E. A. Landgrave and Cristina M. Gómez-Sarabia, *Appl. Opt.*, Vol. 47, E1-E7 (2008).
- [4] J. Ojeda-Castañeda, E. Yépez-Vidal and E. García-Almanza, *Phot. Let. of Poland*, Vol. 2 (4), 162-164 (2010).

Microsystem concept for sensing applicationsH.P. Herzig, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Optics & Photonics Technology Laboratory, hanspeter.herzig@epfl.ch

Micro- and nano-optical structures have been widely studied, because they push the frontier of miniaturization of optical components and provide new phenomena due to the light-matter interactions at the nanoscale. In several research fields, such as telecommunication, health, environment and sensing, nanostructures start nowadays to be used and commercialized.

System concepts, such as photonic crystals or plasmonic structures, are proposed to realize compact devices. Powerful micromachining tools promise their low-cost mass production. However, the production costs are only low if the market for such devices is large enough. This is often not the case. Therefore, it is important to base the microsystem fabrication on a platform concept. The platform can be produced in large quantities and then be adapted to a specific task.

We will discuss such a planar platform that is suitable for sensing applications. The platform is based on Bragg multilayer's, which sustain Bloch surface waves. Interesting is also that the light propagation through the optical structures can be observed with a near-field microscope, which opens the door for fundamental investigations of micro and nanostructures.

9:30 - 10:00 Uhr **Kaffeepause**

Modellierung und Simulation optischer Systeme

Sitzungsleiter:

H. Bartelt, Institut für Photonische Technologien Jena

D
O
N
N
E
R
S
T
A
G

Optische Mikromanipulation / Mikrosysteme

Sitzungsleiter:

H. Bartelt, Institut für Photonische Technologien Jena

Optische Mikromanipulation in maßgeschneiderten Ince Gauß Strahlen

Ch. Alpmann, M. Woerdemann, Institut für Angewandte Physik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster; C. Denz, AG Nichtlineare Photonik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, c.alpmann@uni-muenster.de

Die individuelle Organisation auf mikroskopischen Skalen gewinnt neben kollektiver Anordnung zunehmend an Bedeutung in interdisziplinären Anwendungen wie der Strukturierung von z. B. Zellen, Mikroorganismen oder Nanocontainern. Diese verlangen nach einer Vielfalt an komplexen transversalen und longitudinalen Lichtfeldern, um Materie dreidimensional manipulieren zu können. Wir präsentieren maßgeschneiderter Lichtfelder, die zahlreiche dreidimensionale Potentiallandschaften ermöglichen, und führen Ince Gauß (IG) Strahlen als innovative Strahlklasse für die optische Mikromanipulation ein. IG Strahlen bilden eine vollständige Klasse an orthogonalen Lösungen der paraxialen Helmholtzgleichung in elliptischen Koordinaten und zeichnen sich besonders durch ihre transversale Modenvielfalt in Kombination mit selbstähnlichen Propagationseigenschaften aus. Wir beschreiben ihre Eigenschaften im Hinblick auf Anwendungen in optischen Pinzetten, demonstrieren die flexible experimentelle Realisierung beliebiger Moden und zeigen die erstmalige Anwendung im Bereich der optischen Mikromanipulation.

„In situ - Manipulation“ von Mikropartikeln durch eine nichtlineare optische Pinzette

St. Gläser, M. Eßeling, C. Denz, AG Nichtlineare Photonik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, s_glae01@uni-muenster.de

Die Manipulation von Mikropartikeln ist ein wichtiges und aktuelles Forschungsgebiet. Neben der optischen Pinzette zur Manipulation von wenigen Partikeln wird die Technik der Dielektrophorese verwendet, um viele 1.000 Partikel simultan zu bewegen. Bei diesem Verfahren werden starke Feldgradienten benötigt, die oft durch externe Elektroden erzeugt werden müssen und demzufolge mit einem hohen Fertigungsaufwand verbunden sind. In diesem Vortrag werden wir das Konzept einer neuartigen nichtlinearen optischen Pinzette zur lichtgesteuerten Manipulation von Mikropartikeln vorstellen. Dabei werden Mikropartikel (als Beispiel Graphitpartikel) durch Dielektrophorese in unterschiedlichen Konfigurationen mit Hilfeoptischinduzierter inhomogener elektrischer Felder angeordnet. Diese Raumladungsfelder, die für die Polarisation der Materie und deren Bewegung verantwortlich sind, werden optisch in Lithiumniobat induziert. Somit sind Form und Anordnung der Elektroden einzig durch Lichtfelder schaltbar und ermöglichen die in situ - Manipulation sehr vieler Partikel in beliebiger Konfiguration in Mikrokanälen mit einem Bruchteil der Lichtleistung, die für herkömmliche optische Pinzetten nötig ist.

Optische Mikromanipulation/
Optische und optomechanische Mikrosysteme

Sitzungsleiter:

H. P. Herzig, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

D
O
N
N
E
R
S
T
A
G

Raum A

A20
10:30

Diffraktiv optische Elemente für künstlerische und darstellende Anwendungen

Th. Kusserow, B. Schiel, H. Hillmer, Universität Kassel, INA Technische Elektronik, kusserow@ina.uni-kassel.de

Spektral reine Farben ermöglichen eine beeindruckende Darstellung, die mittels herkömmlicher Farbtechniken, beruhend auf Absorption und Reflexion nicht erreicht werden kann. Für Anzeigen oder künstlerische Arbeiten wie z.B. Lichtinstallationen werden Laser oder holographisch bzw. diffraktive optische Elemente verwendet. Letztere zerlegen das Licht einer breitbandigen Quelle winkelabhängig in ihre spektralen Bestandteile. Wir haben eine solche beugungsoptische Gitterstruktur zur Erzeugung von farbigen Flächen entworfen und hergestellt. Um eine großflächige und kostengünstige Herstellung zu erreichen, wird ein Nanoimprintverfahren eingesetzt, bei dem ein Stempel vielfach in eine aushärtbare Polymerschicht abgeformt wird. Die diffraktiven 2D Strukturen werden auf dem Originalstempel durch Elektronenstrahlithographie erzeugt und anschließend mit einem Metall lift-off und Trockenätzverfahren in das Material übertragen. Abformung von verschiedenen einfachen Originalstempeln auf einen Zwischenstempel ermöglicht schnell die Fertigung von großflächigen und komplexeren Strukturen.

D
O
N
N
E
R
S
T
A
G

A21
10:45

Absolutkodierung für einen diffraktiven optischen Drehgeber

D. Hopp, Ch. Pruss, W. Osten, F. Sterns, Institut für Technische Optik (ITO), Universität Stuttgart; K.-P. Fritz, J. Seybold, V. Mayer, H. Kück, Hahn-Schickard-Gesellschaft, Institut für Mikroaufbau-technik (HSG-IMAT), Stuttgart, hopp@ito.uni-stuttgart.de

Vorgestellt wird das Prinzip eines neuartigen optischen Drehwinkelsensors mit kombinierter, diffraktiver Inkremental- und Absolutkodierung. Die Sensorfunktion basiert auf einer mikrostrukturierten Kodierscheibe, welche mittels eines herkömmlichen DVD-Spritzprägeverfahrens kostengünstig aus Kunststoff hergestellt werden kann. Bei fokussierter Beleuchtung mit einer Laserdioden erzeugt die diffraktive Maßspur Beugungsordnungen auf einer Detektorebene. Durch eine geeignete periodische Anordnung der Gitterstruktur ergibt sich in Abhängigkeit von der Winkelposition der Kodierscheibe eine Modulation der Beugungsordnungen, aus welcher sowohl die absolute Winkelposition, als auch ein inkrementales Richtungssignal ermittelt werden.

Optische Mikromanipulation/
Optische und optomechanische Mikrosysteme

Sitzungsleiter:

H. P. Herzig, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

D
O
N
N
E
R
S
T
A
G

Über die Verminderung der Depolarisation in einem DUV-Objektiv mit großer numerischer Apertur – eine Fallstudie

St. Müller-Pfeiffer, J. Finster, O. Falkenstörfer, Jenoptik Optical Systems GmbH, Jena, stefan.mueller-pfeiffer@jenoptik.com

Die schrumpfenden Strukturabmessungen in der Halbleiterindustrie machen das Finden und Identifizieren von herstellungsbedingten Defekten in der Waferfertigung immer schwieriger. In [1] wurde gezeigt, daß die Verwendung von polarisiertem Licht eine deutliche Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses bei der Detektion von Punktdefekten in Linienstrukturen im Vergleich zu unpolarisiertem Licht ermöglicht. Wegen der begrenzten Zahl von Materialien, die sich für die Verwendung in DUV-Optiken eignen, ist die Herstellung eines polarisationsneutralen DUV-Objektives eine ernsthafte technische Herausforderung. Wir diskutieren eine Reihe von Möglichkeiten zur Beeinflussung der (AR-)Schichteigenschaften, die zu einer wesentlichen Verminderung des Polarisierungseinflusses führen, einschließlich einer Betrachtung der Fertigbarkeit.

[1] B.-H. Lee et al., Proc. SPIE, Vol. 6152, 61521Q (2006); DOI:10.1117/12.656004

Eine Möglichkeit zur Angleichung der spektralen Eindringtiefen des evaneszenten Feldes in der TIRF Mikroskopie (Total Internal Reflection Fluoreszenz Microscopy)

M. Matthä, Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Jena, matthae@zeiss.de

Die TIRF Mikroskopie hat in den vergangenen Jahren immer mehr an Bedeutung zugenommen, da mit diesem Verfahren wesentlich die z- Auflösung verbessert werden kann. Dabei wird folgender Sachverhalt ausgenutzt. Eine Beleuchtung wird unter einen so großen Winkel der Probe zugeleitet, dass der Flächendurchtritt vom Deckglas zur Probe infolge von Totalreflexion nicht möglich ist. Lediglich das bei Totalreflexion entstehende evaneszente Feld dringt einen kleinen Betrag in die Probe ein und beleuchtet die unmittelbar am Deckglas liegende Schicht. Die Eindringtiefe der evaneszenten Welle in die Probe ist von der Lichtwellenlänge abhängig. Dadurch ergeben sich bei Multi- Color TIRF Anwendungen mit herkömmlichen Lichteinspiegelungen erhebliche Nachteile bezüglich der Erkennbarkeit und Detektionsfrequenz einzelner Fluorophore oder Farbstoffe. Mit der vorgestellten Methode können die spektralen Eindringtiefen bei Multi Color Anwendungen angeglichen werden, wodurch sich für alle verwendeten Wellenlängen annähernd gleiche Anregungsvolumen ergeben.

Toleranzen in der Beleuchtungsoptik: Freiformflächen, Arrays und 10 Millionen Strahlen

A. Hofmann, S. Junginger, A. Timinger, OEC AG, München, hofmann@oec.net

Moderne Beleuchtungssysteme haben oft komplexe Elemente wie z.B. Freiformflächen und Arrays. Wie in der Präzisionsoptik üblich ist dabei die Kontrolle der Fertigungs- und Montagetoleranzen bereits im Optikdesign entscheidend für den wirtschaftlichen Erfolg der Entwicklung. Lange Rechenzeiten, nichtsequentielle Pfade sowie nichtstandardisierte Elemente und Gütekriterien stellen in der Beleuchtungsoptik die Toleranzrechnung vor besondere Herausforderungen. Wir stellen einen Ansatz zur Monte Carlo-Toleranzierung von Beleuchtungssystemen vor, der reale Toleranzen berücksichtigt und klare Zielvorgaben für die Fertigung definiert.

Kombinierte Thermo-Optische Simulation für Optische Systeme

A. Gatej, RWTH Aachen, Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme; U. Thombsen, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, Aachen; P. Loosen, TOS der RWTH Aachen und Fraunhofer ILT, alexander.gatej@ilt.fraunhofer.de

Derzeitige kommerziell erhältliche Raytracing Software bietet nur eingeschränkt die Möglichkeit, lokal verteilte thermische und mechanische Einflüsse bei der Optikauslegung und Optimierung zu berücksichtigen. Insbesondere bei Multi-kW-Lasersystemen hoher Brillanz führt die inhomogene Erwärmung der optischen Komponenten zu thermischer Linsenwirkung und damit zu einer Fokusverschiebung und zu Wellenfrontfehlern im Betrieb. Um dem entgegenzuwirken, ist eine Auslegung für einen Betriebspunkt oder einen Betriebsbereich denkbar, welche durch Berücksichtigung thermischer Effekte bereits in der Simulation erreicht werden kann. Das zwischen der FEM Software ANSYS Workbench und der Raytracing Software Zemax geschaffene Interface nutzt ein iteratives Verfahren zur Optimierung des Optikdesigns. Dabei wird zunächst ein Raytracing des Optikdesigns zur Bestimmung der Absorptionsverteilung durchgeführt und dient der thermischen FEM-Simulation als Anfangsbedingung. Die simulierte Temperaturverteilung wird aufbereitet und liefert dem Raytracing ein angepasstes Brechzahlprofil. Ein iterativer Prozess kann die Wechselwirkung der Effekte berücksichtigen und das Ergebnis optimieren.

11:00 – 11:15 Uhr **Kaffeepause**

Messtechnische Auswertung optischer Freiformflächen

W. Hofmann, JENOPTIK Polymer Systems GmbH, Jena, werner.hofmann@jenoptik.com

Optische Freiformflächen können durch Spritzguss kostengünstig hergestellt werden. Für höchste Formgenauigkeiten sind oft mehrere Korrekturschritte für die Werkzeuge notwendig. Die Bestimmung der Werkzeugkorrekturwerte aus den gemessenen Formabweichungen spielt dabei eine entscheidende Rolle. Für einige nichtrotationssymmetrische Flächengeometrien wurden verschiedene mathematische Algorithmen entwickelt, die einen Vergleich der Sollfläche und den gemessenen Flächendaten ermöglicht, um so die Werte für die Korrektur der Werkzeuge zu bestimmen.

Optische Messverfahren zur Hochgeschwindigkeitsprüfung von rotationssymmetrischen Präzisionswerkzeugen

M. Büchner, Mahr OKM GmbH, Jena, marco.buechner@mahr.de

Der Einsatz von Bildverarbeitungstechnologien zur berührungslosen Messung von Werkstücken ist seit einigen Jahren eine bewährte Technologie zur Qualitätssicherung. Für eine optimale Qualitätssicherung ist eine 100% Prüfung in der Produktion das Ziel. Dies kann jedoch in der derzeitigen Präzisionswerkzeugfertigung aufgrund der langen Messzeiten mittels Koordinatenmessgeräten gegenüber der Bearbeitungszeit, nicht erreicht werden. Die Ursache dafür liegt maßgeblich im Start Stop Betrieb der Mechanik während der Messwerterfassung begründet, der aber wiederum zur Erreichung der hohen Präzision erforderlich ist. Der Beitrag beschreibt neuartige Strategien und Verfahren zur dynamischen Messung – d.h. die Erfassung der Messdaten während der Bewegung, von komplexen und präzisen Rotationswerkzeugen mit Hilfe optischer Koordinatenmessgeräte. Die Grundlage bildet eine kombinierte Fokus- und Kantendetektion in Bildsequenzen. Dadurch kann die Messwerterfassung signifikant beschleunigt werden. Weiter wird durch die Parallelität von Messdatenerfassung und Auswertung die Messzeit bei gleicher Messunsicherheit deutlich, ca. 50% gegenüber der statischen Messung, reduziert.

Sitzungsleiter:

F. Höller, Carl Zeiss AG, Oberkochen

Maschinenintegrierte Messtechnik für die Herstellung von Diamantschneidwerkzeugen

D. Fleischle, Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering, Universität Stuttgart; R. Berger, W. Lyda, W. Osten, Institut für Technische Optik (ITO) Universität Stuttgart; A. Sobotka, Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie, Aachen
fleischle@ito.uni-stuttgart.de

Mikrostrukturierte Bauteile mit höchsten Ansprüchen an die Oberflächenqualität können durch eine Präzisionszerspanung mit Hilfe von Diamantschneidwerkzeugen hergestellt werden. Für die Qualität der Bearbeitung ist eine präzise Herstellung des Diamantwerkzeuges eine wesentliche Voraussetzung. Die Kontur der Werkzeuge wird durch einen Schleifprozess hergestellt. Um schon während der Bearbeitung die Werkzeugkontur zu überwachen wird bei der Entwicklung einer Diamantschleifmaschine ein optischer Sensor in die Maschine integriert. Dadurch kann zwischen einzelnen Bearbeitungsschritten die Form des Werkzeugs erfasst werden und falls notwendig eine Korrektur des Schleifprozesses vorgenommen werden. Die optische Erfassung der Kontur kann über eine Hellfelderfassung mit einer Datenbearbeitung sowie über eine weißlichtinterferometrische Messung erfolgen. Allerdings müssen neben systematischen Fehlern der Messung ebenso die Positionierfehler der Maschine sowie mögliche Einflüsse aus der Umgebung für eine Abschätzung der Messunsicherheit erfasst werden. In diesem Beitrag werden Untersuchungen zum Einfluss der Ungenauigkeit der Maschinenachsen auf das Messergebnis vorgestellt.

Optisches Mikrophon = Nanophon® als Michelson-Interferometer mit Wavelet-Datenkompression

E. Roth, C. Hoffmann, Augenzentrum Friedrichstadt, Düsseldorf, eye@e-roth.de

Optisches Mikrophon = Nanophon® als Michelson-Interferometer mit Wavelet-Datenkompression. Vorgestellt wird ein Mikrophon, das die durch Schwingungen erzeugten Interferogramme eines Michelson-Interferometers zur optischen Signalerzeugung nutzt. Die zeitlich veränderlichen Interferogramme werden über zwei Pin-Dioden detektiert, digitalisiert, quadraturdekodiert und - in Abhängigkeit von den im jeweiligen Experiment interessierenden Frequenzintervallen - mit Wavelet-Algorithmen datenkomprimiert. Die Digitalisierung ist in Gatterlogik und mit Hilfe eines Microcontrollers realisiert. Die Datenübertragung zum PC erfolgt über eine USB Schnittstelle. Der PC verarbeitet die Daten mithilfe der Wavelet-Algorithmen, speichert sie, stellt sie grafisch dar oder gibt sie akustisch aus. Der Aufbau wird zurzeit mit integrierter Optik und der Datenverarbeitung auf einem Digitalen-Signalcontroller modifiziert.

Sitzungsleiter:

F. Höller, Carl Zeiss AG, Oberkochen

Optimierung des Beleuchtungssystem eines Mask Aligners (MO Exposure Optics)

U. Vogler, A. Bich, R. Völkel, SUSS MicroOptics SA, Neuchatel, Schweiz; M. Hornung, R. Zoberbier, SUSS MicroTec Lithography GmbH, Garching; S. Sinzinger, Technische Universität Ilmenau, vogler@suss.ch

Bei der abbildungsfreien Photolithographie im Mask Alignern werden Mikro- und Nanostrukturen durch Schattenwurf (Proximity/Contact Lithography) übertragen. Die erreichbare Auflösung (CD, Critical Dimensions) ist durch den Abstand Wafer-Photomaske und durch die Beugungseffekte an den Mikrostrukturen auf der Photomaske bestimmt. Durch geeignete Beleuchtung (Customized Illumination) können diese Effekte reduziert werden und die Auflösung verbessert werden. Ein neuartiges Beleuchtungskonzept für Mask Aligner, die MO Exposure Optics, basiert auf zwei aufeinanderfolgenden Mikrolinsenhomogenisatoren (Köhler Integratoren). Das vorgestellte zweistufige optische System entkoppelt die Beleuchtung von lateralen Schwankungen der Lichtquelle, erzeugt telezentrische Beleuchtung, und erlaubt es ein nahezu beliebiges Winkelspektrum des Beleuchtungslichtes frei einzustellen (spatiale Filterung). Das optische System sowie experimentelle erzielte Ergebnisse werden vorgestellt und diskutiert.

Parametrische Optimierung refraktiver Strahlformungssysteme unter Berücksichtigung von Beugungs- und Interferenzeffekten

H. Schweitzer, M. Kuhn, Ch. Hellmann, LightTrans VirtualLab UG, Jena; F. Wyrowski, Friedrich-Schiller-Universität Jena, hagen.schweitzer@lighttrans.com

Laserstrahlung kann mittels Strahlformungssystemen in eine gewünschte Intensitätsverteilung umgeformt werden. Für die Umformung können Linsen zusammen mit diffraktiven und refraktiven Strahlformungselementen eingesetzt werden. Beim Einsatz von refraktiven Elementen werden Beugung und Interferenzen während der Optimierung meist vernachlässigt und eine Modellierung erfolgt oft nur in geometrisch optischer Näherung. Es existieren allerdings Situationen, in denen eine solche Näherung nicht zulässig ist. Dies ist z.B. bei der Formung von Intensitätsverteilungen an der Auflösungsgrenze des Systems der Fall. Die Autoren werden deshalb eine parametrische Optimierung von refraktiven Strahlformungselementen unter Berücksichtigung von Beugungs- und Interferenzeffekten vorstellen. Während der Präsentation wird der Einfluss der numerischen Modellierungsgenauigkeit auf die Konvergenz diskutiert. Refraktive Strahlformungselemente können ebenfalls mittels eines Projektionsalgorithmus optimiert werden. Deshalb sollen die Konvergenzen von parametrischer Optimierung und Projektionsalgorithmus an einem Beispiel verglichen und Stärken und Schwächen der jeweiligen Methode herausgestellt werden.

Optimierte Lichtverteilung für ein LED-basiertes Landescheinwerfersystem einer Boeing 787 – Erhöhung der Flugsicherheit im Landeanflug durch verbesserte Umweltwahrnehmung

B. Willeke, Goodrich Lighting Systems, Lippstadt, Benny-15@gmx.de

Die Arbeit befasst sich mit der Definition einer optimierten Lichtverteilung für die Landebeleuchtung eines Flugzeuges. Dazu wurden visuelle Wahrnehmungsaspekte des Piloten, Randbedingungen durch das Flugzeug und Forderungen aus Normen, diskutiert sowie deren Relevanz für die Definition einer optimierten Lichtverteilung eingeschätzt. Die erarbeiteten Relevanzen sind dann bei der Auswertung in die Anforderungen für die bevorzugte Lichtverteilung mit eingeflossen. Um die Realisierbarkeit der bevorzugten Lichtverteilung zu überprüfen wurden einfache LED-basierte, optische Ansätze, welche eine Fläche definiert beleuchten sollen, evaluiert.

Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass die Landebeleuchtung für ein Flugzeug mit LEDs, die mit Plankonvexlinsen oder Parabelreflektoren kollimiert werden, realisierbar ist. Zudem bietet die LED-Landebeleuchtung den Vorteil einer sehr flexiblen Gestaltung der Ausrichtung sowie der Homogenität der bevorzugten Lichtverteilung.

Diese Arbeit zeigt, dass die Lichtverteilung der Landebeleuchtung eines Flugzeuges im Vergleich zum Stand Technik mit einfachen optischen Ansätzen verbessert werden kann.

Berechnung von Ultraschall-Reflektoren mit kommerziellen Optikprogrammen

E. Dietzsch, Jena, Eberhard.Dietzsch@web.de

Stark gebündelter und konzentrierter Ultraschall wird in der Urologischen Praxis zur Zertrümmerung von Nierensteinen (mit sog. Lithotriptern) und auch in der Orthopädie zur Beseitigung von Knochen-auswüchsen, wie z.B. Fersenspornen, eingesetzt. Erforderlich ist dabei, eine Ultraschallquelle in Form einer Funkenentladung auf ein Target abzubilden. Wenn man die Ultraschallausbreitung strahlen-geometrisch betrachtet, können kommerzielle Optikprogramme hierzu prinzipiell eingesetzt werden. Dies stößt jedoch auf Schwierigkeiten auf Grund gewisser Vorgaben:

1. Die Abbildung der Ultraschallquelle darf nicht punktförmig erfolgen, sondern sollte aus praktischen Erfordernissen heraus die Form einer in axialer Richtung ausgedehnten Brennlinie, am besten eine von zylindrischer Form bestimmter Länge, haben. 2. Für eine korrekte Darstellung der Spotbilder als Maß für die Energiekonzentration ist die kugelförmige Ausstrahlungscharakteristik und Energieverteilung der Ultraschallquelle unbedingt zu berücksichtigen. Es wird gezeigt wie beide Probleme theoretisch und mit Hilfe eines gegebenen Optikprogramms gelöst wurden und wie insbesondere eine kugelsymmetrische Emission der Quelle simuliert werden kann. Die Anwendung von akustischen Beugungskriterien zur Darstellung der Energieverteilung ist problematisch und wäre zu diskutieren.

12:15 – 12:30 Uhr **Mittagspause (Ausgabe Lunchpakete)**
12:30 Uhr **Ausflug/ Rahmenprogramm**

Sitzungsleiter:

B. Kleemann, Carl Zeiss AG, Oberkochen

Raum A

S1
08:30

Infrarot-Weltraum-Observatorien

D. Lemke, Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg, lemke@mpia-hd.mpg.de

Fernrohre am Boden sind auf das schmale atmosphärische Fenster des sichtbaren Spektralbereichs beschränkt. Oberhalb der Erdatmosphäre werden alle Wellenlängen vom Röntgenbis zum Infrarot-Bereich zugänglich. Damit werden der heiße, der kalte und der hochrotverschobene Kosmos beobachtbar. Die ersten Versuche zur Überwindung der Lufthülle unternahm Astronomen vor über einem Jahrhundert in hochfliegenden Ballons. Heute liefern Fernrohre in Satelliten oberhalb der turbulenten Atmosphäre scharfe Bilder der Himmelskörper auch aus „unsichtbaren“ Spektralbereichen. Das Max-Planck-Institut für Astronomie ist an allen europäischen Weltraum-Teleskopen für den Infrarotbereich wesentlich beteiligt. Begonnen hat es im Jahre 1995 mit dem flüssigheliumgekühlten Infrared Space Observatory (ISO). Gegenwärtig umkreist HERSCHEL in 1.5 Mio km Abstand von der Erde einen masselosen Punkt im All und liefert spektakuläre Bilder von Sternentstehungsgebieten und Galaxien im fernen Kosmos. Im Bau ist das James Webb Space Telescope, das mit seinem 6.5 m-Spiegel die ersten Sterne nach dem Urknall aufspüren soll.

S2
09:00

Beating the diffraction limit set by a single telescope: milliarcsecond imaging and microarcsecond astrometry with Optical Long Baseline Interferometry (OLBIN)

M. Schöller, European Southern Observatory, Garching, mschoell@eso.org

Astronomy makes use of large telescopes not only to collect light, but also to resolve minute details in celestial objects. The spatial resolution that can be achieved is given by the observing wavelength and the diameter of the telescope. Today, the telescope diameter is limited to around 10m at visible and near infrared wavelengths. One can overcome this single telescope diffraction limit through the coherent combination of two or more telescopes. The resolution is then set by the distance of the telescopes, the so-called baseline. Today, this results in resolution improvements by easily a factor of 30. Optical long baseline interferometry has matured significantly over the last decade and is now implemented in several facilities. I will describe the principle of OLBIN, the technological challenges and the adapted solutions, and show some scientific highlights obtained over the last decade.

S3
09:30

Adaptive Optics in Astronomy – Getting the stars sharp

W. Gaessler, Max-Planck-Institut fuer Astronomie, Heidelberg, gaessler@mpia.de

Due to atmospheric turbulence, large astronomical telescopes, observing in the optical and infrared wavelengths, don't reach their maximum resolution, as defined by the entrance aperture. To overcome these limitations imposed by the atmosphere modern ground based observatories use Adaptive Optics (AO). Only recently AO in astronomy reached maturity although the idea of using such technique exists since the 50th. The breakthrough was achieved with new developments in the technologies of detectors and deformable mirrors. Nevertheless, a remaining obstacle for AO in astronomy is the lack of bright stars providing enough photons for the measurement of the wavefront, which limits the sky coverage. But the astronomical AO community came up with a number of solutions to overcome this problem. This overview of AO in astronomy will explain the different sensing techniques in use and will show some of the solutions to the limited sky coverage as well as some of the fabulous research results already reached with AO in the past years.

10:00 – 10:30 Uhr **Kaffeepause**

Sitzungsleiter:

G. Häusler, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

European Extremely Large Telescope: a review of the status and the challenges of the optical design

A. McPherson, E-ELT Office, European Southern Observatory, Garching bei Muenchen
amcphers@eso.org

European Extremely Large Telescope is a project managed by the European Southern Observatory based in Garching Germany. The project, to design, construct and commission a 42 metre optical telescope in Chile to observe in both the Visible and the Infra-Red. The design of the telescope is a 5 mirror fully active and adaptive design allowing the telescope to deliver a fully corrected image to the instrumentation package. The primary mirror is 42 m in diameter and is constructed from 982 1.4m hexagon segments. The secondary is a 6m aspheric convex mirror. The instrumentation suite is designed to include a maximum of 9 instruments. Six are planned on the Naysmith Platforms, 2 on Gravity Invariant Platforms and one in the basement Coude Room. The telescope will be able to switch between instruments in a short time during the night's observations. This presentation will cover the current design status of the telescope, the design and manufacturing challenges of the main telescope optics and a short presentation on issues on optics with the instrument designs.

Röntgen-Astronomie

P. Predehl, Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Garching, predehl@mpe.mpg.de

Während man mit optischen Teleskopen weitgehend „kühle“ Objekte beobachtet, d.h. Sterne mit Oberflächentemperaturen von 10³ -10⁴ K, sieht man im Röntgenlicht das „heiße“ Universum bei Temperaturen oberhalb von Millionen K. Um solch hohe Temperaturen zu erzeugen benötigt man gewaltige Energieumsätze, so wie sie z.B. bei exotischen Objekten wie Neutronensternen und Schwarzen Löchern möglich sind.

Wegen der Undurchsichtigkeit der Erdatmosphäre können Röntgenbeobachtungen nur vom Weltraum aus gemacht werden.

Der Brechungsindex jeder Materie ist im Röntgenbereich um 1keV knapp kleiner als 1. Das macht die Abbildung mittels Linsen fast unmöglich. Reflexion ist nur im Bereich der Totalreflexion bei sehr kleinen Winkeln möglich, eine entsprechende Spiegelgeometrie aus einer Kombination Paraboloid/Hyperboloid („Wolter-I“) ist der Standard bei allen bisherigen Röntgenteleskopen. Auch Fresnel-Zonenplatten wurden schon zur Abbildung der Sonne verwendet.

Als Kameras wurden früher Gas-Proportionalzähler und Multichannelplates verwendet, heute zumeist spezielle CCDs, zunehmend auch kryogene Bolometer-Arrays.

Bildgebende Verfahren in der Astronomie /
Imaging Techniques for Astronomy

Sitzungsleiter:
G. Häusler, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

F
R
E
I
T
A
G

Das Cherenkov-Telescope-Array – ein Observatorium für Gammastrahlungsastronomie im Energiebereich um 1 TeV

Ch. Stegmann, Erlangen Centre for Astroparticle Physics (ECAP), Universität Erlangen-Nürnberg, stegmann@physik.uni-erlangen.de

In den letzten Jahren hat die jetzige Generation von abbildenden Cherenkov-Teleskopen Gammastrahlung im Energiebereich oberhalb von einigen zehn GeV für die Astronomie erschlossen. Gammastrahlungsquellen sind in unserem Universum allgegenwärtig. Hochenergie-Phänomene spielen eine signifikante Rolle im Materie-Zyklus unseres Universums. Das vorgeschlagene System aus abbildenden Cherenkov-Teleskopen erreicht gegenüber bestehenden Systemen eine um den Faktor zehn größere Sensitivität im Energiebereich um 1 TeV. Es vergrößert signifikant die Sammelfläche und damit die Nachweisraten, verbessert die Winkelauflösung, um ausgedehnte Quellen detailliert aufzulösen, deckt einen Energiebereich von einigen zehn GeV bis über 100 TeV gleichmäßig ab und vergrößert die Möglichkeiten für Himmelsdurchmusterungen, Quell-Überwachungen und für flexiblen Betrieb. CTA wird unser Universum bei hohen Energien mit bisher nicht erreichter Sensitivität untersuchen und besitzt ein großes Entdeckungspotenzial für neue Phänomene im Bereich der Astro- und Astroteilchenphysik und der Kosmologie.

12:00 – 12:15 Uhr **Diskussion S1 - S6**

12:15 – 13:30 Uhr **Mittagspause**

Sitzungsleiter:
G. Häusler, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Design von Hochleistungstransportfasern mit wenigen Moden

A. Lorenz, A. Hartung, S. Schröter, Institut für Photonische Technologien e.V., Jena; H. Bartelt, Institute of Photonic Technology, Jena, adrian.lorenz@iphpt-jena.de

Der Transport hoher optischer Leistung in guter Strahlqualität mittels optischer Fasern ist mit zwei Problemen konfrontiert: nichtlineare Effekte und Moden höherer Ordnung. Auftretende nichtlineare Effekte, welche eine spektrale Änderung der Eingangsintensität bewirken, lassen sich nur durch geringere Spitzenintensitäten verhindern, was effektiv einen größeren Führungsquerschnitt erfordert. Dies resultiert bei konstantem Indexhub zwischen Kern und Mantel in der Regel aber in der Führung höherer Moden und damit zur Verminderung der Strahlqualität. Mit einfachen Stufenindexprofilen wird deshalb die Steigerung der Leistungsfähigkeit bei Hochleistungstransportfasern begrenzt. Wir diskutieren alternative Faserdesigns mit dem Ziel, einen möglichst großen Führungsquerschnitt bei maximalem Abstand der Grundmode zu Moden höherer Ordnung zu erreichen. Dabei werden insbesondere auch die Krümmungseigenschaften einbezogen, mit denen die Dämpfung höherer Moden gezielt beeinflusst werden kann.

Plasmonische Effekte in metallbefüllten mikrostrukturierten optischen Fasern

R. Spittel, K. Schuster, IPHT Jena; J. Kobelke, H. Bartelt, Institute of Photonic Technology, Jena, ron.spittel@iphpt-jena.de

Durch selektives Einbringen von flüssigen Metallen (z.B. Gold oder Silber) in ein oder mehrere ausgewählte Löcher mikrostrukturierter optischer Fasern erhält man nach deren Abkühlung Mikrodrähte von einigen Zentimetern Länge. Bei diesem Prozess werden Temperaturen von ca. 1100°C und Drücke von über 100 bar angewendet. An den zylindrischen Grenzflächen zwischen diesen Mikrodrähten und dem dielektrischen Glas können Oberflächenplasmon-Polaritonen angeregt werden. Die Plasmonen-Anregung und der Energie-Transfer von der Kernmode der Faser kann im Transmissionsspektrum beobachtet werden. Die experimentellen Ergebnisse dazu werden mit den Resultaten eines semi-analytischen Modells und mit der Simulation einer Finite-Elemente-Methode verglichen.

Sonstige Themen/Faseroptische Systeme

Sitzungsleiter:

T. Thöniß, Qioptiq GmbH, Göttingen

F
R
E
I
T
A
G

Erzeugung von Faser-Bragg-Gittern in Saphirfasern für die Hochtemperatursensorik
T. Elsmann, E. Lindner, M. Becker, H. Bartelt, Institute of Photonic Technology, Jena,
tino.elsmann@ipht-jena.de

Die Verwendung von Faser-Bragg-Gittern (FBG) in Quarzglasfasern hat sich in der Sensorik in den letzten zwei Jahrzehnten etabliert. Sie finden in vielen technischen Bereichen Anwendung, insbesondere zur Temperatur- und Dehnungsmessung. Um den Einsatzbereich auf Umgebungstemperaturen von mehr als 1000°C auszuweiten, sind herkömmliche Fasern aus Quarzglas ungeeignet, da das verwendete Fasermaterial in diesen Bereichen zunehmend weicher wird und die eingeschriebenen Gitter degradieren. Um FBG für höhere Temperaturen (>1000°C) stabilisieren zu können, ist daher ein anderes hochschmelzendes Fasermaterial nötig. Eine Faser aus Saphir (Schmelztemperatur ca. 2030°C) ist als Grundmaterial für solche hochtemperaturfeste FBGs besonders gut geeignet. Zum Einschreiben der Gitter ist die Verwendung eines Femtosekunden-Lasers nötig, da Saphir nicht wie herkömmliche Fasern photosensitiv für UV-Belichtung ist. Mit einem solchen Kurzpuls-Laser ist es aufgrund der großen Spitzenleistung und der damit auftretenden Mehrphotonenabsorption möglich, generell in optisch transparenten Medien Gitter einzuschreiben. Wir berichten über die Erzeugung und die Eigenschaften solcher FBG in optischen Saphir-Fasern.

Tomographische Messung der Spannungsverteilung in optischen Faser-Preformen mit mikrostrukturiertem Kern
F. Just, Ch. Segel, H. Bartelt, Institute of Photonic Technology, Jena, florian.just@ipht-jena.de

Mechanische Spannungen in optischen Fasern beeinflussen sowohl deren mechanische als auch deren optische Eigenschaften. So kann beispielsweise durch die gezielte Generierung hoher Spannungen Polarisationserhaltung in Fasern erzeugt werden. Wir präsentieren Ergebnisse tomographischer Spannungsmessungen an Faser-Preformen. Eine polarimetrische Methode zur Bestimmung der axialen Spannungsverteilung in Faser-Preformen mit beliebigem Querschnitt wird verwendet, um auf die doppelbrechenden Eigenschaften von polarisationserhaltenden Fasern zu schließen. Wir untersuchen Proben, deren Kern so aus Strukturelementen aufgebaut ist, dass hohe Spannungsunterschiede im Kern selbst entstehen. Aus der axialen Spannungsverteilung wird schließlich die erzeugte Spannungsdoppelbrechung berechnet und die Eignung der Faser für die Verwendung zur Polarisationserhaltung bewertet.

Sonstige Themen/Faseroptische Systeme

Sitzungsleiter:

T. Thöniß, Qioptiq GmbH, Göttingen

F
R
E
I
T
A
G

Analysis and optimization of volume diffusors

M. Englert, W. Juschtschenko, M. Hagemann, M. Brinkmann, University of Applied Sciences – Darmstadt; S. Sinzinger, Technische Universität Ilmenau, marion.englert@h-da.de

In contrast to imaging optics diffusors are typically used to achieve homogeneous luminance distributions for display and lighting applications. For example, LEDs are nearly point sources and therefore optical beam shaping components are needed. Optical diffusors in reflection and transmission are commonly used for additional luminance homogenization. However, a detailed quantitative understanding and numerical description of their optical performance are very unconfident or still unclear.

In this contribution we focus on volume diffusors and present results on three types of particle-matrix-material combinations. The measured straylight distributions are compared to theoretical predictions and show good agreement. From these results optimized material parameters can be derived in order to get improved volume diffusors for tailored luminance distributions.

Holografisch mikrostrukturierte Gitter für Hochleistungs-spektrometer

O. Sandfuchs, M. Burkhardt, R. Steiner, A. Gatto, Carl Zeiss Jena GmbH; R. Brunner, Fachhochschule Jena, sandfuchs@zeiss.de

Die spektrale Auflösung und der spektrale Lichtleitwert mit einer hohen Effizienz besonders an den Randbereichen des genutzten Spektrums sind entscheidende Kenngrößen von Spektrometern für Hochleistungsoptiksysteme in der Medizintechnik und Mikroskopie. Zur Erreichung eines hohen Beugungswirkungsgrades werden bevorzugt geblazte aber auch sinusförmige diffraktive optische Elemente mit hohen Raumfrequenzen der Gitterstruktur (900 – 1800 Linien/mm) eingesetzt. Es werden drei verschiedene theoretische Designkonzepte zur Erreichung höchster Beugungseffizienz über einen großen Spektralbereich vorgestellt: die selektive Strukturhöhenanpassung, das Materialdispersionstuning und der Einsatz von variablen Polymergittern, und deren spektraler Performancegewinn diskutiert. Ausgehend von der strukturellen Charakterisierung der Mastergitter durch ein Rasterkraftmikroskop (AFM) und der Vermessung ihrer optischen Performance wird eine mehrdimensionale Profilparametermatrix zur Optimierung der holografisch mikrostrukturierten Gitter verwendet, die die spezifischen Eigenschaften der Profilform durch den interferenzlithografischen Herstellungsprozess berücksichtigt.

Raum B

B28
14:00

Die Simulation nanostrukturierter Solarzellen mit der FDTD Methode

B. Michel, Hembach Photonik GmbH, Rednitzhembach; J. Pond, Lumerical Solutions, Vancouver, Canada, bm@hembach-photonik.de

Das wirtschaftliche Interesse an nanostrukturierten Solarzellen mit erhöhtem Wirkungsgrad bei gleichzeitig verringerten Materialkosten wächst ständig. Entwickler sind zunehmend auf Simulationsergebnisse angewiesen, um die grundsätzlichen physikalischen Vorgänge zu verstehen und um neue Designansätze in Hinblick auf ihre Erfolgsaussichten bewerten zu können. Der Vortrag geht auf typische Herausforderungen ein, die sich beim Design nanostrukturierter Dünnschicht-Solarzellen ergeben. Die Vielzahl von Parameterabhängigkeiten, die analysiert werden müssen, erfordern zwangsläufig hoch effiziente Simulationswerkzeuge. Hierfür haben sich Computerprogramme, die auf der FDTD (Finite Difference Time Domain)-Methode beruhen, als eine Art Industriestandard etabliert. FDTD-Simulationen liefern genaue Ergebnisse für realistische drei-dimensionale Strukturen im gesamten solaren Spektralbereich. Sie dienen nicht nur zur Verifikation von bestehenden Systemen, sondern eignen sich auch zur systematischen Optimierung.

B29
14:15

Aspekte zur Berechnung der lokalen Absorption mit der RCWA

M. Auer, K.-H. Brenner, Universität Heidelberg, max.auer@ziti.uni-heidelberg.de

Die präzise Berechnung der lokalen Absorption spielt eine wichtige Rolle in der Lithographie und im Design von Photodetektoren. Wir stellen eine rigorose Methode zur Berechnung der lokalen Absorption in periodischen Strukturen vor. Die Methode basiert auf der Berechnung elektrischer Felder innerhalb dieser Strukturen mit dem Verfahren der Rigorous Coupled Wave Analysis (RCWA). Da die Standarddefinition für die lokalen Felder in der RCWA keine befriedigende Lösung liefert, haben wir eine von Lalanne vorgestellte Methode [J. Modern Opt. 45, 1357 (1998)] modifiziert. Die Ergebnisse, die mit dieser Modifikation erzielt wurden, zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Gesetzen der Energieerhaltung. Wir stellen außerdem einige Beispiele vor, die typische Anwendungsszenarien in Lithographie und Detektordesign sind.

14:30 – 14:45 Uhr **Kaffeepause**

Generierung dynamischer Intensitätsverteilungen für die Oberflächenstrukturierung durch Umschmelzen mittels Laserstrahlung

V. Morasch, P. Loosen, TOS der RWTH Aachen; A. Temmler, LLT der RWTH-Aachen
valentin.morasch@ilt.fraunhofer.de

Umschmelzen mittels Laserstrahlung stellt einen völlig neuartigen, ressourcenschonenden und umweltfreundlichen Ansatz für die Strukturierung metallischer Oberflächen dar. Dabei wird kein Material abgetragen, sondern im schmelzflüssigen Zustand umverteilt. Die Abdeckung des dafür erforderlichen Parameterraumes erfolgt durch eine dynamische Überlagerung kontinuierlicher (cw-) und gepulster Laserstrahlung mittels Wellenlängenkopplung. Ablenkung und Fokussierung des kombinierten Laserstrahls auf das Werkstück werden über einen 3D-Laserscanner realisiert. Die zusätzliche Polarisationsaufteilung des cw-Strahls ermöglicht Untersuchungen zur parallelen oder kombinierten Bearbeitung. Die Parameter Leistung, Spotgröße und relative Ablenkung aller drei Strahlenteile lassen sich dynamisch und unabhängig voneinander durch eine Gesamtsystemsteuerung einstellen. Durch Integration geeigneter Kamerasysteme sind die Überwachung der relativen Spotpositionen und eine Prozessdiagnostik möglich. Der hohe Automatisierungsgrad erlaubt eine vollständige Kapselung des Aufbaus und damit den Einsatz in industrieller Umgebung. Vorgestellt werden das optische System und damit erzielbare Intensitätsverteilungen.

Regelung von Laserscribing- und Laserablationsprozessen mit optischem Echtzeit-messsystem

P. Strohm, A. Blug, D. Carl, H. Höfler, Fraunhofer IPM, Freiburg; O. Krause, M. Panzner, Fraunhofer IWS, Dresden, peter.strohm@ipm.fraunhofer.de

Laserbearbeitungsprozesse sind extrem schnell ablaufende Wechselwirkungen zwischen Laserstrahlung und dem zu bearbeitenden Material. Das qualitative Ergebnis hängt dabei stark von den Prozessparametern ab, die während der Bearbeitung meist nicht konstant gehalten werden können. In besonderem Maße gilt diese Abhängigkeit für die Mikrobearbeitung. Bisher gelingt die Qualitätsbeurteilung der Ergebnisse dort erst nach Abschluss des Prozesses, was im Fehlerfall zu entsprechenden Verlusten führt. Um die verschiedenen Parameter auf der Basis von Bildverarbeitung zu regeln und damit der Entstehung von Fehlern zuvorzukommen, werden hohe Auswerteraten bei der Kamera benötigt, die herkömmliche bildbasierte Regelsysteme schnell an ihre Grenzen bringen. Mit Hilfe von neuen echtzeitfähigen Bildverarbeitungssystemen (CNN, FPGA) sowie speziell dafür entwickelten Algorithmen konnten bei Laserscribing- und Laserablationsprozessen Regelraten bis zu 15kHz erreicht werden (Auswertung plus Regelsignal). Das entwickelte Komplettsystem aus Kameramodul, Recheneinheit, Beleuchtung und Signalausgabe wurde an realen Fertigungsprozessen getestet und konnte die Qualität der Werkstücke deutlich verbessern.

Sonstige Themen/Systeme für die Lasermaterialbearbeitung

Sitzungsleiter:
M. Gruber, FernUniversität Hagen

F
R
E
I
T
A
G

Ein Kilowatt-Liniengenerator für Faserlaser als Beispiel für Integration von diffraktiver und konventioneller Optik in einem System

St. Müller-Pfeiffer, R. Schreiner, K. Gäbel, T. Gnausch, Jenoptik Optical Systems GmbH Jena, stefan.mueller-pfeiffer@jenoptik.com

Faserlaser mit Ausgangsleistungen im Kilowattbereich ermöglichen neue Anwendungen in der Lasermaterialbearbeitung. Durch ihre deutlich bessere Strahlqualität und ihre moderate Wellenlänge im nahen Infrarot erlauben sie eine viel bessere Konzentration der Lichtenergie in kleine Flächen als es herkömmliche Laser erlauben. Sie benötigen aber auch optische Systeme mit besseren Abbildungseigenschaften, um die guten Eigenschaften der Lichtquelle optimal nutzen zu können. Wir zeigen, wie durch eine sinnvolle Kombination konventioneller (refraktiver) und mikrooptischer (diffraktiver) Bauelemente ein solches System entstehen kann und dass eine maximale Systemperformance nur durch die optimale Abstimmung der Einzelteile aufeinander entstehen kann.

Hybride freiformoptische Komponenten - Realisierung komplexer Strahlformungen mittels integrierter Fertigungsverfahren

R. Kleindienst, S. Stoebenau, R. Kampmann, S. Sinzinger, TU Ilmenau, Institut für Mikro- und Nanotechnologien/IMN MacroNano/, roman.kleindienst@tu-ilmenau.de

Die Leistungsfähigkeit optischer Systeme wird zumeist durch die modulare Erweiterung mit konventionell gefertigten Komponenten gesteigert. Um jedoch den Anforderungen neuartiger Anwendungen zu genügen sowie bestehende Systeme zu optimieren, ist die Integration optischer Funktionen in hybriden freiformoptischen Elementen wünschenswert. Solche reflektiv-diffraktiven bzw. refraktiv-diffraktiven Komponenten ermöglichen eine Reduzierung der Systemgröße sowie der Fertigungskosten. Mit zunehmender Funktionsintegration ist jedoch eine erhöhte Komplexität der optischen Oberflächen verbunden. Meist bestehen diese aus reflektiven bzw. refraktiven Anteilen mit Krümmungsradien und Tiefen von einigen hundert μm bis mm und exakt dazu ausgerichteten hochfrequenten diffraktiven Strukturen im μm -Bereich. Wir stellen anhand einer Bearbeitung in Kupfer ein integriertes Fertigungsverfahren vor, welches die benötigte Flexibilität und Präzision zur Realisierung der verschiedenen Oberflächenkomponenten liefert. Hierfür werden mechanische Bearbeitung und direkte ps-Lasereablation in der gleichen Aufspannung durchgeführt. Neben der Fertigung werden Designüberlegungen und experimentelle Resultate präsentiert.

Sonstige Themen/Systeme für die Lasermaterialbearbeitung

Sitzungsleiter:
M. Gruber, FernUniversität Hagen

F
R
E
I
T
A
G

Digitale Mehrwellenlängenholographie zur schnellen 3D-Vermessung technischer Oberflächen

M. Fratz, D. Carl, M. Pfeifer, D. Giel, H. Höfler, Fraunhofer IPM, Freiburg; D. Skoczowski, A. Heuer, Universität Potsdam, markus.fratz@ipm.fraunhofer.de

Die digitale Mehrwellenlängenholographie bietet großes Potential für die berührungslose dreidimensionale Vermessung technischer Oberflächen. Wir präsentieren den Prototyp eines digital-holographischen 6-Wellenlängensensors. Das System verwendet 6 stabilisierte Diodenlaser, die nacheinander das zu vermessende Objekt beleuchten. Mit Hilfe einer CCD-Kamera (1000 x 1000 Bildpunkte) werden bei jeder Wellenlänge drei Hologramme mit unterschiedlichen Phasenlagen der Referenzwelle aufgenommen. Die Hologrammaufnahme erfolgt linsenlos, d.h. ohne Abbildung des Messobjekts. Dadurch, dass die spektralen Abstände der Einzelwellenlängen verschieden groß sind (20 pm – ca. 2 nm), ergibt sich ein großer axialer Messbereich von mehr als 10 mm bei einer Auflösung von <math><5\mu\text{m}</math>. Die gesamte Datenaufnahme und -Auswertung für ein Messfeld von 1000x1000 Messpunkten, die einem Messfeld von etwa 20 mm x 20 mm entsprechen, geschieht in rund 1,6 s dank parallelisierter Berechnungsverfahren auf einer Grafikkarte.

Enlarging the Application Range of Digital Holographic Microscopes for Deformation of Rough Surfaces

A. Brunn, A. Ettemeyer, Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs NTB, Schweiz; Y. Delacrétaz, Ch. Depeursinge, École Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL, Schweiz; Y. Emery, Lyncée Tec SA, Lausanne, Schweiz, andreas.brunn@ntb.ch

Certain rough surfaces can raise difficulties in interferometric and holographic contour measurements when they cause a speckle pattern, which complicates phase analysis. This can occur when surfaces exhibit characteristic dimensions below the lateral resolution limit, or steep local slopes, whose reflections exceed the numerical aperture of the objective. In Digital Holographic Microscopy, the use of synthetic beat wavelengths from two laser sources can improve the situation for some of those mentioned rough surfaces. However, certain measurement applications, in particular deformation, can also be performed by a slightly modified measurement procedure of a single-wavelength setup. This way, it is similar to a speckle pattern interferometry setup and the use of a Fourier phase-shifting algorithm enables measurement of out-of-plane deformation. In combination with a correlation-based algorithm sensitive to in-plane deformation, the 3D deformation can be obtained, thus enlarging the variety of measurable rough surfaces. The results are also compared to simulation sets obtained from an enhanced Monte-Carlo model, reproducing the measurement procedure for different roughness values.

Präzisionsmesstechnik/Hyperspectral Imaging

Sitzungsleiter:

R. Schuhmann, Berliner Glas KGaA

F
R
E
I
T
A
G

Tomographic imaging of hydrogels by digital holography microscopy

C. Yuan, G. Pedrini, J. Ma, W. Osten, Institut für Technische Optik (ITO) Universität Stuttgart; G. Fu, Southeast University, Nanjing, China, caojin.yuan@ito.uni-stuttgart.de

Hydrogels are very similar to natural tissues; therefore they have been used as artificial materials for repairing and regenerating a wide variety of tissues and organs. It is important to study the microstructure of hydrogels, for determining their physical and mechanical properties. However, there are few imaging methods which can be used to characterize the microstructure of hydrogels immersed in liquids. Digital holography allows measurements of immersed samples and this makes it as an ideal tool for hydrogel microstructures investigation. In our setup, a short coherent cw laser diode is used as the light source. Each layer of the sample is scanned and recorded with micrometer axis resolution by varying the path length of the reference beam. By processing a series of two dimensional reconstructions with fitting algorithms, we get the three-dimensional distributions of phase and intensity. The method can be applied for various investigations such as monitoring optical and mechanical properties under mechanical stress or temperature.

Anpassung von digitalholographischen Propagationsalgorithmen an kurzkohärente Lichtquellen in einem hochauflösenden Sensorsystem

St. Stürwald, R. Schmitt, Fraunhofer IPT, Telgte, stephan.stuerwald@ipt.fraunhofer.de

Digitale Holographie adressiert durch sein schnelles, berührungsloses und zerstörungsfreies Messverfahren ein breites Anwendungsfeld in der optischen Messtechnik. Die Bestimmung der komplexwertigen Wellenfront erlaubt dabei eine nachträgliche numerische Korrektur der Fokusebene. Durch den Einsatz von kurzkohärenten Lichtquellen wie SLDs und LEDs ist eine Verbesserung des Phasenrauschens durch eine Vermeidung von störenden Interferenzen erreichbar. Es wird ein Sensorsystem vorgestellt, welches auf phasenschiebender digitalholographischer Mikroskopie basiert und in ein Nano-Koordinatenmesssystem integriert ist. Für eine schnelle Realisierung von Messungen von großflächigen Proben durch Stitchen erfolgt ein Ersatz der mechanische Fokuspachführung durch eine nachträgliche numerische Nachfokussierung. Im Falle von nicht-monochromatische Lichtquellen werden verschiedene Ansätze zur Verbesserung der Rekonstruktion des komplexen Wellenfeldes in der Fokusebene vorgestellt und anhand von Testmessungen an technischen Oberflächen charakterisiert.

16:00 Uhr **Mitgliederversammlung / Poster**

18:30 Uhr **Fraunhofer-Vorlesung
Festbankett**

Präzisionsmesstechnik/Hyperspectral Imaging

Sitzungsleiter:

R. Schuhmann, Berliner Glas KGaA

F
R
E
I
T
A
G

Photopolymer Materials

J. T. Sheridan, University College Dublin, john.sheridan@ucd.ie

Over the past ten years we have been involved in the quantitative characterization and improvement of photopolymer materials. Photopolymers are primarily organic material layers whose properties change when illuminated (i.e. when they are exposed - written to). The resulting changes in the material density (3D volume refractive index) or layer surface profile are often employed to modulate optical replay beams (read-out). Such materials have the advantage over many other optically sensitive materials that they are inexpensive, relatively easy to prepare and use, reasonably stable and self-processing. Furthermore the performance of these materials and their commercial availability is improving. The study of photopolymers is driven by the fact that these materials act as drivers and enabler for a range of technologies including refractive and diffractive optical elements, photo-embossing, hybrid 3D optoelectronic circuitry, data storage systems and self-trapping. At the heart to our approach to the modeling of these materials is the use of the Non-local Photopolymerisation Driven Diffusion Model (NPDD). Combining appropriate dye models and allowing for the effects of inhibition, kinetics and diffusion the NPDD has been applied to characterize several very different photopolymer systems successfully. Approaches to improve material performance have been formulated and verified. Furthermore the effect of material performance on the application of these materials has been analysed. In this talk recent work in this area will be presented and discussed.

Lightfield photography and the tomographic analysis of optical phase space

M. Testorf, Dartmouth College, Thayer School of Engineering at Dartmouth College (Hannover, USA), markus.e.testorf@dartmouth.edu

Current trends in optical imaging technology are characterized by the integrated design of optical hardware and signal processing. This synergy is also at the core of the recent resurrection of Lippmann's integral imaging technique in the form of lightfield cameras. Using a Shack-Hartman sensor in the image plane of an imaging system a four-dimensional data cube, called the "lightfield", can be recorded, which is identified as the phase space of geometrical optics. The lightfield can be used to correct numerically for image aberrations, and motion blur after the image data have been recorded.

The recording of lightfields shares various features with phase-space tomography, a phase retrieval method based on multiple intensity measurements. From this observation phase-space tomography can be generalized to include integral photography as a special case. The phase space interpretation further allows us to recognize optical sensing and imaging as a single discipline. Topics like feature specific imaging and compressed sensing are interpreted as tomographic reconstructions of phase space. While the presentation emphasizes heuristic arguments, the discussion highlights numerical tools for a practical implementation.

10:00 – 10:30 Uhr **Kaffeepause**

Neue optische Materialien

Sitzungsleiter:
D. Kelly, Technische Universität Ilmenau

Modellierung und Simulation optischer Systeme

Sitzungsleiter:
D. Kelly, Technische Universität Ilmenau

S
A
M
S
T
A
G

Ansichtenplanung zur 3-D Rekonstruktion unter Berücksichtigung von Vollständigkeit und Messunsicherheit

Ch. Munkelt, P. Kühmstedt, G. Notni, Fraunhofer IOF, Jena; J. Denzel, Friedrich-Schiller-Universität Jena, christoph.munkelt@iof.fraunhofer.de

Ansichtenplanung, also die Bestimmung von Sensorposition und -lage, ist eines der zentralen Probleme bei der vollautomatischen 3-D Rekonstruktion und Objektinspektion. Zur hochgenauen 3-D Rekonstruktion wiederum wird oft die phasenkorrelierende Streifenprojektion eingesetzt. Dabei wird eine Vermessung des Objektes mit wenigen Ansichten, hoher Vollständigkeit und geringer Messunsicherheit angestrebt.

Die vorgestellte Planungsmethode erlaubt es, sowohl unter Nutzung vorhandener Modellinformationen als auch unbekannte Objekte effizient zu rekonstruieren. Vollständigkeit und Messunsicherheit werden dabei gemeinsam modelliert. Zur Reduzierung der Unsicherheit werden dabei Sensororientierungen berechnet, welche die Richtung des zum größten Eigenwertes der Unsicherheitsschätzung gehörenden Eigenvektors berücksichtigen.

Der Vorteil dieser neuen Methode, welche speziell auf komplexe Messobjekte angepasst wurde, wird anhand der Vermessung mehrerer Objekte mittels eines robotergeführten Streifenprojektionssensors verifiziert. Die erzielten Ergebnisse hinsichtlich Messunsicherheit und Vollständigkeit werden mit dem Stand der Literatur und gegenüber menschlicher Ansichtenplanung verglichen.

Geschwindigkeitsoptimierung eines hochauflösenden, maschinenintegrierbaren 3D-Sensors auf Basis Streifenprojektion

A. Breitbarth, I. Schmidt, P. Kühmstedt, G. Notni, Fraunhofer IOF, Jena, andreas.breitbarth@iof.fraunhofer.de

Die automatische Inspektion industrieller Zwischenerzeugnisse erfordert zunehmend hohe Ortsauflösungen bei gleichzeitig gestiegenen Anforderungen an die Messgeschwindigkeit. Zum Erreichen dieser Ziele wurde ein maschinenintegrierbarer 3D-Sensor basierend auf Streifenlichtprojektion entwickelt. Zur Verkürzung der Bildaufnahmezeit konnte die Anzahl zu projizierender und anschließend zu verarbeitender Muster bei nur gering reduzierter Genauigkeit signifikant verkleinert werden. Entscheidend dafür sind die Nutzung der Epipolargeometrie und eine Einschränkung in der Höhenausdehnung des Messobjektes. Zur Beschleunigung der Datenauswertung wurde weiterhin das Auffinden von Punktkorrespondenzen deutlich beschleunigt. Hierzu wird der auf Epipolarlinien eingeschränkte Suchraum weiter auf kurze Segmente von Epipolarlinien reduziert und ein binärer Suchalgorithmus angewendet. Abschließend ist die gesamte Datenberechnung von der Phasenaufnahme bis zur 3D-Ausgabe der Punktwolke auf 15 Prozessoren parallelisiert worden. Damit können im kontinuierlichen Messmodus bis zu 8,9 Mio. Messpunkte pro Sekunde erzielt werden. Die Messgenauigkeit auf der Prüfoberfläche liegt dabei bei 5 µm.

Präzisionsmesstechnik/ Hyperspectral Imaging

Sitzungsleiter:

M. Testorf, Dartmouth College, USA

S
A
M
S
T
A
G

Nichtäquidistante Sensoranordnung zur absoluten Profilvermessung

A. Wiegmann, M. Schulz, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, axel.wiegmann@ptb.de

Es wird eine Methode zur Verbesserung der lateralen Auflösung eines Multisensor-Verfahrens zur absoluten Profilmessung vorgestellt. Bei dem Messverfahren wird ein Linienarray aus Abstandssensoren über den Prüfling geführt. Die durch die Führung verursachte Verkipfung wird zusätzlich mit einem Autokollimator gemessen. Anschließend wird aus den aufgenommenen Messwerten die Gesamttopographie berechnet. Bisher wurde das Messverfahren mit einem kompakten Interferometer als Sensorarray genutzt. Um das Messverfahren auf Sensoren übertragen zu können, welche nicht beliebig dicht nebeneinander platziert werden können, müssen die Sensorabstände nichtäquidistant gewählt werden um weiterhin eine hohe laterale Auflösung erreichen zu können. Die Verwandtschaft zu Shearingmessverfahren wird erläutert. Anhand von Simulations- und Messergebnissen wird gezeigt, wie die Sensorabstände gewählt werden müssen um eine laterale Auflösung weit unterhalb des Sensorabstandes zu erreichen.

Verbesserung der Kantenfindung mit einem Fokussensor durch Simulationen auf der Grundlage rigoroser Beugungstheorie

H. Baitinger, E. Manske, R. Mastylo, N. Vorbringer-Dorozhovets, S. Sinzinger, G. Jäger, Technische Universität Ilmenau; J. Bischoff, OSIRES Optical Engineering & Software Development, Ilmenau, henner.baitinger@tu-ilmenau.de

Optische Sensoren sind leistungsfähige Werkzeuge in der Messtechnik. Die vertikale Auflösung eines Fokussensors ist in der Größenordnung von Nanometern; er erlaubt hohe Messgeschwindigkeiten, hat beinahe keinen Einfluss auf das Messobjekt. Jedoch erreicht die laterale Auflösung nur Submikrometer oder sogar nur Mikrometer. Ein Problem ist, dass durch Beugungseinflüsse der detektierte Kantenort vom eigentlichen Kantenort verschoben ist. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Verbesserung des Kantenfindungsprozesses. Das optische Modell des Fokussensors wurde in einer Simulationssoftware implementiert, wobei die optischen Wechselwirkungen mit der Probe durch rigorose Beugungstheorie beschrieben werden. Es konnte gezeigt werden, dass die Stufenhöhe einen signifikanten Einfluss auf das Messsignal hat. Um die Korrelation zwischen Simulation und Messung zu untersuchen sind Proben mit exakten und definierten Stufen notwendig. Selbst entwickelte Proben wurden mit dem Fokussensor bei extrem kleiner Messunsicherheit vermessen. Es wird im Detail die Korrelation zwischen Vergleichsmessergebnissen mit dem Rasterkraftmikroskop, der Simulation und den Messergebnissen des Fokussensors diskutiert.

Präzisionsmesstechnik/ Hyperspectral Imaging

Sitzungsleiter:

M. Testorf, Dartmouth College, USA

S
A
M
S
T
A
G

Raum A

A38
11:30

Optische Präzisionsmessung von Nick, Gier und Rollwinkel mittels Autokollimator A. Ruprecht, Trioptics, Wedel, a.ruprecht@trioptics.com

Die präzise Messung von Nick-, Gier- und Rollwinkelbewegung ist von großem Interesse beispielsweise bei der Vermessung der Geradheit von Linearachsen. Nach dem bisherigen Stand der Technik werden meist mehrere Messsysteme eingesetzt, um diese drei Winkel zu messen. Für die Messung von Nick- und Gierwinkel ist der Einsatz von Autokollimatoren das gängige Verfahren. Die Messung des Rollwinkels erfordert meist ein zusätzliches Messsystem, bei dem im Allgemeinen relativ zu einer planen Referenzfläche gemessen wird. In diesem Vortrag wird ein Verfahren mit einem modifizierten Autokollimator vorgestellt, mit dem die gleichzeitige Messung von allen drei Winkeln mit hoher Präzision ermöglicht wird.

A39
11:45

SensMiLi: optisch absolutes Wegmess-System aus einspurig q-nären Pseudo-Zufalls-Sequenzen für Miniatur-Linearmotoren

D. Wibbing, J. Binder, Festo AG & Co. KG, Esslingen; W. Schinköthe, Universität Stuttgart, dwb@de.festo.com

Kern des Vortrags ist ein innovatives Wegmess-System, das auf der Beugung von Licht an optischen Gittern basiert. Optimiert für die Integration in Miniatur-Linearmotoren, soll es diese zur hoch dynamischen, mikrometeregenauen Positionierung in Reinräumen befähigen. Erstmals gelang es q-näre Pseudo-Zufalls-Sequenzen mit optischer Beugung zu codieren, die bisher nur binär mit abbildenden Verfahren realisiert werden konnten. Dies geschieht durch die Aneinanderreihung von Gittern zu einem einspurigen Maßstab, der den Gauß- förmigen Lichtfleck einer Laserdiode beugt und auf eine Sensor-Matrix reflektiert. Die Ortsverteilung des Beugungsmusters codiert die Position des Linearmotors, die sich mit der Auswertung der Intensitätsverteilung unter die Strukturgeometrie des Maßstabes verfeinern lässt. Anders als bisher muss dabei die absolute Maßspur weder durch störende, inkrementelle Strukturen überlagert, noch durch eine parallele, inkrementelle Spur verbreitert werden. Versuche mit Laser- und Ionenstrahlschreibern stellen Möglichkeiten zur Integration des Maßstabes in die Kolbenstange des Linearmotors vor.

Präzisionsmesstechnik/ Hyperspectral Imaging

Sitzungsleiter:

M. Testorf, Dartmouth College, USA

S
A
M
S
T
A
G

Raum B

B34
10:30

Interferometrie mit ultrakurzen Terahertz-Pulsen

A. Brahm, A. Weigel, St. Riehemann, G. Notni, A. Tünnermann – Fraunhofer IOF/FSU Jena, anika.brahm@iof.fraunhofer.de

Es werden erste Ergebnisse zu einem Interferometrierfahren mit ultrakurzen Terahertz (THz)-Pulsen vorgestellt. Das Verfahren ist für Materialien geeignet, welche im THz-Bereich reflektieren (Metalle, Silizium, hochbrechende Kunststoffe, Keramiken), sowie für Schichtsysteme deren Grenzflächen mit THz-Pulsen charakterisiert werden können. Der Systemaufbau orientiert sich an einem Michelson-Interferometer zur tiefenaufgelösten Untersuchung von Probenstrukturen in Reflexion. Durch den erzeugten Phasenversatz zwischen Proben- und Referenzarm werden die reflektierten THz-Pulse destruktiv überlagert. In Abhängigkeit des Wegunterschieds zwischen Referenz- und Probenarm ergibt sich ein summierter Amplitudenwert, welcher anhand einer Kalibrierkurve der Probenstruktur zugeordnet wird. Mit der Interferometrie von ultrakurzen THz-Pulsen können Strukturen von mindestens 5 µm mit erhöhtem dynamischem Bereich aufgelöst werden.

B35
10:45

Interferometrische Steigerung des Auflösungsvermögens optischer Rastermikroskope

D. Weigel, R. Förster, H. Babovsky, A. Kießling, R. Kowarschik, Institut für Angewandte Optik, FSU Jena, Daniel.Weigel@uni-jena.de

Optische Rastermikroskope, wie zum Beispiel das konfokale Laser-Scanning-Mikroskop, sind heutzutage weit verbreitet. Sie finden ihre Anwendung unter anderem in der medizinischen und biologischen Forschung. Es ist daher von großem Interesse die Bildqualität und das Auflösungsvermögen solcher Mikroskope weiter zu verbessern. Wir zeigen, dass mit Hilfe eines nachgeschalteten bildinvertierenden Interferometers das Auflösungsvermögen eines optischen Rastermikroskops um 26 % gesteigert werden kann. Es wird nicht nur die gemessene Punktbildverwaschungsfunktion diskutiert, sondern auch der effektive Auflösungsgewinn an Zweipunktobjekten verifiziert. Das verbesserte Auflösungsvermögen führt zu einer kontrastreicheren Darstellung feiner Details bzw. ermöglicht überhaupt erst ihre Wahrnehmung. Mit Hilfe von zweidimensionalen Objektstrukturen wird die deutlich gesteigerte Bildqualität anschließend demonstriert.

S
A
M
S
T
A
G

B36
11:00

Spektralbereichsbasierte refraktive Kurzkohärenzinterferometrie

C. Brückner, J. Liebermann, J. Haueisen, Technische Universität Ilmenau; B. Grajciar, A. F. Fercher, Medizinische Universität Wien, Österreich, claudia.brueckner@tu-ilmenau.de

Die Messung der Dispersion ist wichtig für die Identifizierung von Gewebesubstanzen, insbesondere kann damit die Konzentration der einzelnen Analyte einer Lösung bestimmt werden. Eine potentielle Anwendung ist die Bestimmung des Glukosegehaltes im Blut, was eine schonendere Messung für Diabetespatienten verspricht. Als Entwicklungsschritt hin zu dieser Technologie präsentieren wir eine spektralbereichsbasierte Kurzkohärenz-Interferometrie-technik. Diese ermöglicht die Bestimmung der spektralen Phasenverzögerung und damit des spektralen Brechungsindex. Für unsere vorherigen Messungen haben wir eine zeitbereichsbasierte Technik genutzt, was jedoch mit einer langen Messzeit und einer geringen Sensitivität verbunden war. Unser neues System beinhaltet hierfür wesentliche Neuerungen. So ermöglicht die spektralbereichsbasierte Messung wesentlich kürzere Messzeiten. Als neue Lichtquelle wird ein Superkontinuumlaser mit einer spektralen Bandbreite von 460–2400 nm und einer optischen Ausgangsleistung von 3 W verwendet. Für die spektrale Messung wird ein Dualband-Spektrometer verwendet, was die Auswertung eines extrem breiten Spektralbereichs (visuell und nahes Infrarot) ermöglicht.

Sonstige Themen / Interferometrische Verfahren

Sitzungsleiter:

S. Sinzinger, Technische Universität Ilmenau

S
A
M
S
T
A
G

Raum B

B37
11:00

Hologramm-Interferometrie zur Deformationsbestimmung stereoskopisch vermessener Objekte

H. Babovsky, B. Harendt, M. Große, A. Kießling, R. Kowarschik, Institut für Angewandte Optik, FSU Jena, Holger.Babovsky@uni-jena.de

Deformationen oder Verschiebungen von Objekten im μm -Bereich lassen sich hochgenau mit interferometrischen Methoden bestimmen. Allerdings ist es mit diesem Verfahren nicht möglich, gleichzeitig die grobe Form des Objektes zu bestimmen. Im Rahmen stereophotogrammetrischer Messungen kann zwar die grobe Form bestimmt werden, Veränderungen im Sub-Mikrometerbereich können jedoch nicht erfasst werden. Mit der Kombination von Holografie und Stereophotogrammetrie stellen wir ein 3D-Messverfahren vor, welches die Vorteile der beiden Methoden vereint. Es wird gezeigt, dass es uns möglich ist die makroskopische Form eines Objekts zu erfassen und gleichzeitig mikroskopische Deformationen interferometrisch zu vermessen.

B38
11:30

Lichtmodulatorbasierte Multifunktionsmikroskopie

M. Hasler, M. Warber, T. Haist, W. Osten, Institut für Technische Optik (ITO) Universität Stuttgart, hasler@ito.uni-stuttgart.de

Die Anwendung von räumlichen Lichtmodulatoren (SLM) in der Mikroskopie ermöglicht eine Reihe von neuen Vorgehensweisen. Durch Verwendung von computergenerierten Hologrammen (CGH) wird es z.B. möglich gängige Verfahren wie die Phasenkontrastmikroskopie oder die Stereomikroskopie bewegungsfrei zu implementieren und somit Flexibilität zu gewinnen und Fehlerquellen auszuschalten. Um diese Möglichkeiten optimal zu nutzen, wird ein optisches System vorgestellt, bei dem Abbildungs- und Beleuchtungspupille frei programmierbar sind. Die Realisierung verschiedener Abbildungsverfahren durch Programmierung des Lichtmodulators wird demonstriert. Ergebnisse zu ausgewählten Verfahren werden vorgestellt.

B39
11:45

Kompensation verkippter Abbildungsebenen in der digitalholographischen Holographie

F. Schlichthaber, B. Kemper, G. von Bally, Centrum für Biomedizinische Optik und Photonik, Münster, f.schlichthaber@uni-muenster.de

Bei bestimmten Anwendungen quantitativer digitalholographischer Phasenkontrastverfahren kann mit linsenbasierten optischen Abbildungssystemen, wie z. B. Mikroskopobjektiven mit begrenzter Schärfentiefe, keine scharfe Abbildung der Probe im gesamten Bildfeld des Aufnahmesensors realisiert werden. Beispiele hierfür sind u. a. tomographische Verfahren, bei denen die Probe während der Messung verkippt werden muss, flächenhafte Phasenmessungen an transparenten Proben in Totalreflektionsgeometrie, sowie Messkonfigurationen in der zerstörungsfreien Oberflächenanalyse, bei denen der Prüfkörper nicht senkrecht zur optischen Achse positioniert werden kann. Eine Möglichkeit dieses Problem zu lösen ist die partielle Rekonstruktion von digitalen Hologrammen. Es werden Ergebnisse von Untersuchungen zur Optimierung der Qualität und Geschwindigkeit der digitalholographischen Rekonstruktion vorgestellt. An Beispielen von Testcharts und biologischen Proben wird demonstriert, dass auf diese Weise auch nachträglich Verkipnungen von bis zu 80 Grad zur Objektebene fokussiert werden können.

12:00 Uhr **Ende der Tagung**

Sonstige Themen / Interferometrische Verfahren

Sitzungsleiter:

S. Sinzinger, Technische Universität Ilmenau

S
A
M
S
T
A
G

P1 **Design des Beleuchtungspfads für ein miniaturisiertes paralleles Fluoreszenz-Mikroskop**

E. Slogsnat, K.-H. Brenner, Universität Heidelberg, eike.slogsnat@ziti.uni-heidelberg.de

In der Systembiologie besteht ein Bedarf nach einer Beschleunigung der Mikroskopie, da gerade bei genomweiten Screens eine Vielzahl an Einzelexperimenten durchgeführt werden muss. Ein Konzept für ein miniaturisiertes paralleles Fluoreszenz-Mikroskop mit GRIN-Linsen wurde bereits entwickelt und der Abbildungsstrahlengang durch Simulation und einen experimentellen Aufbau charakterisiert (DGaO 2010, Vortrag A27). Der Beleuchtungspfad besteht aus zwei GRIN-Linsen und einer Spiegel-/Strahlteilerschicht. Die objektseitige Linse ist durch den Abbildungspfad vorgegeben. Es werden das Design des Beleuchtungspfads und erste Ergebnisse vorgestellt.

P2 **Integriertes optisches Mikrosystem zur Fluoreszenzdetektion in bio-chemischen Analysatoren**

A. Grewe, S. Sinzinger, S. Stoebeu, Technische Universität Ilmenau; M. Amberg, Carl Zeiss Vision GmbH, Aalen, adrian.grewe@tu-ilmenau.de

In der bio-chemischen Analytik wird Fluoreszenz als Indikator für verschiedenste Reaktionen eingesetzt. Hochintegrierte mikrofluidische Systeme ermöglichen das Handling von Probenvolumina im Bereich weniger Mikro- bis Nanoliter. Dagegen stellt die Miniaturisierung und Integration der optischen Analysesysteme aufgrund ihrer Komplexität oft eine Herausforderung dar. Optofluidische Mikrosysteme bieten das Potential die optische Detektion direkt mit den mikrofluidischen Reaktionssystemen zu integrieren. Hierdurch werden eine Isolation gegenüber der Umgebung und somit ein Schutz vor Kontamination sowie ein potentiell hoher Automatisierungsgrad erreicht. Wir präsentieren Design, Herstellung und Charakterisierung eines hochintegrierten Fluoreszenzdetektors als Aufsatzelement für mikrofluidische Systeme. Die Fertigung des Systems erfolgt dabei durch Ultrapräzisionsfräsen, wodurch die monolithische Integration optischer Freiformelemente ermöglicht wird. Die Leistungsfähigkeit des Systems wird charakterisiert und die Anwendung als bio-chemisches Analysesystem diskutiert.

P3 **Sensoren zur bestimmung Absorptions- und Fluoreszenzeigenschaften von Flüssigkeiten in Mikrofluidiksystemen**

M. Will, O. Brodersen, A. Steinke, CIS Forschungsinstitut für Mikrosensorik und Photovoltaik GmbH, Erfurt, mwill@cismst.de

Die Mikrofluidik beschäftigt sich mit der Handhabung von Flüssigkeiten und Gasen auf kleinstem Raum. Mikroschlauchsysteme werden bevorzugt für den Transport oder zur Speicherung von Probenvolumen in Kompartimenten eingesetzt. Am CiS wurde ein Sensor entwickelt, der direkt an solchen Schläuchen Fluoreszenz, Absorption, Anzahl und Geschwindigkeit von Kompartimenten bestimmen kann. Durch eine Integration von 4 LED's mit abgestuften Wellenlängen konnte zusätzlich eine spektrale Auflösung realisiert werden. Über LTCC-Keramik und spezielle Aufbau und Verbindungstechnologien ist hohe Reproduzierbarkeit und kostengünstige Batchfertigung gesichert. Der Sensor wurde an der Modellsubstanz Rhodamin getestet. Es konnte gezeigt werden das über die gleichzeitige Messung von Fluoreszenz und Absorption eine Rodaminkonzentration von weniger als 0,00001 mol/Liter detektiert werden kann.

P4 **Herstellung eines optischen Sensorkopfes zur Gasanalyse mittels spanender, ablativer und planarer Fertigungsverfahren**

M. Gruber, H. Winkelmann, M. Bohling, H. Knuppertz, FernUniversität in Hagen; R. Kleindienst, R. Kampmann, Technische Universität Ilmenau, matthias.gruber@fernuni-hagen.de

Wir berichten über die Realisierung eines mikrosystemtechnischen Architekturkonzepts für einen Sensorkopf zur chemischen Gasanalyse auf Basis der Plasma-Emissions-Spektroskopie. Um das zu analysierende Gas anzuregen wird im Sensorkopf eine elektrische Mikro-Hohlkathoden-entladung in Gang gesetzt. Die emittierte charakteristische Strahlung wird dann von einer integrierten Kollektoroptik erfasst. Kernstück des Sensorkopfes ist ein sub-mm dünnes planares und mit metallischen Elektroden versehenes Glassubstrat mit einem Durchgangsloch von ca. 0,1mm, in dem das Mikroplasma brennt. Die Emissionsstrahlung wird im Substrat geführt und über den Rand durch fokussierende Profile per optischer Abbildung in Glasfasern eingekoppelt, die zum Spektrometer führen. Eine besondere Herausforderung ist die Mikroperforierung der heterogenen Metall-Glas-Metall Schichtstruktur. Dafür wurde ein ps-Laser eingesetzt. Die Metallisierung des Glassubstrats erfolgte durch thermisches Bedampfen und Galvanik, die fokussierenden Profile wurden mit Diamantwerkzeugen auf einer Präzisions-fräsmaschine hergestellt. Vorgestellt werden der Fertigungsprozess im Detail und eine Funktionsdemonstration des Sensorkopfes.

P5 **Analyse eines neuen Systemkonzepts zur parallelen scannenden Mikroskopie**

X. Liu, K.-H. Brenner, Universität Heidelberg, xiyuan.liu@ziti.uni-heidelberg.de

Bei genomweiten Analysen in der Biologie wird eine große Anzahl von Einzelexperimenten mikroskopisch untersucht. Typischerweise werden dafür automatisierte Weitfeld-Mikroskope benutzt. Die Zellkulturen, von denen sich mehrere auf einem Substrat befinden, werden einzeln nacheinander aufgenommen. Um diesen sehr zeitaufwendigen Prozess zu beschleunigen, wurde ein neues Systemkonzept zur miniaturisierten parallel scannenden Mikroskopie mit vier Schlüssel-Eigenschaften entworfen: hohe mikroskopische Vergrößerung, weites und erweiterbares Sichtfeld, optisches Scanning und eine praktikable Miniaturisierung des Gesamtsystems. Die wesentlichen Elemente des vorgeschlagenen Konzepts sind kostengünstig herstellbar. Es wird der Entwurf und erste Ergebnisse in Hinblick auf Abbildungsqualität vorgestellt.

P6 **Mikrostrukturierung senkrechter Kanalwände mittels Talbot-Effekt**

X. Ma, M. Krüger, St. Uske, S. Sinzinger, Technische Universität Ilmenau,
xuan.ma@tu-ilmenau.de

Mikrostrukturierte Kanalwände als integrierte Funktionsoberflächen sind zur Erhöhung der Funktionalität und Kompaktheit optofluidischer Mikrosysteme von großem Interesse. Wird ein Gitter mit einer ebenen Welle beleuchtet, entstehen dahinter die Talbot Selbstabbildungen des Gitters in definierten periodischen Abständen. Mit Hilfe dieses sogenannten Talbot-Effekts ist es möglich, periodische Strukturen auf senkrechten Kanalwänden zu erzeugen. Wir präsentieren die Herstellungsmöglichkeit solcher Strukturen in Kanalwänden. Eine große technologische Anforderung liegt in der gleichmäßigen Beschichtung des Fluidikkanals mit Fotolack, was durch optimierte Sprühbelackungsprozess ermöglicht ist. Mit einer angepassten Maske und Belichtungskonfiguration werden Gitterstrukturen mit definiertem Abstand und präziser Positionskontrolle auf beiden senkrechten Wänden des Kanals erzeugt. Auf diese Weise entsteht ein Interferometer das z.B. als hochempfindlicher Partikelsensor Anwendung findet.

P7 **Scannende Compound-Kamera zur hochauflösenden 3D-Objektabtastung**

D. Pätz, St. Leopold, S. Sinzinger, M. Hoffmann, Technische Universität Ilmenau; F. Knöbber, O. Ambacher, Fraunhofer Institut für Angewandte Festkörperphysik Freiburg,
daniel.paetz@tu-ilmenau.de

In Anlehnung an die Wahrnehmung und Bildverarbeitung des menschlichen Auges (Sakkaden) verfolgen wir das Konzept einer scannenden Compound-Kamera mit verstellbarer Brennweite. Durch die hohe Abbildungsleistung im achsnahen Bereich und eine dreidimensionale Abtastung des Objektraumes, lässt sich auch für große Feldwinkel eine Abbildung mit hoher Bildqualität realisieren. Wir stellen Konzepte für ein verstellbares Mikroprisma vor, welches in der Apertur des Systems positioniert ist und zu einer lateralen Ablenkung des Strahlenganges in x- und y-Richtung führt. Die Verstimmung erfolgt dabei durch thermische out-of-plane Aktoren. Für eine Nachfokussierung kommt eine Membranlinse zum Einsatz, die sowohl thermische als auch piezoelektrische Aktorelemente enthält. Diese ermöglicht einen Scan in z-Richtung, eine Nachfokussierung sowie eine Wellenfrontkorrektur. Als Materialien für das Aktordesign dienen nanokristallines Aluminiumnitrid und Diamant welche sich durch optische Transparenz sowie mechanische Stabilität auszeichnen. Das Materialsystem erfüllt damit die hohen Anforderungen an Verstellbereich und -geschwindigkeit sowie die zum Scannen notwendige Wiederholgenauigkeit.

P8 **Holographisch optische Pinzetten zur Anordnung und Organisation von Nanocontainern**

M. Woerdemann, Ch. Alpmann, A. Devaux, L. De Cola, C. Denz, Westfälisch Wilhelms-Universität Münster, woerde@wwu.de

In diesem Beitrag stellen wir die Anordnung und Manipulation von Nanocontainern mit Hilfe holographisch optischer Pinzetten vor. Dazu wird ein Lichtfeld gezielt strukturiert, so dass das Prinzip der optischen Pinzette auf die gleichzeitige Kontrolle vieler Teilchen erweitert wird. Mit geeigneten Nanocontainern, die durch hochgradig geordnete Kavitäten entsprechende Anordnungen von Gastmolekülen ermöglichen, kann so beispielsweise supramolekulare Organisation bis hinauf zu mikroskopischen Größenskalen erreicht werden, indem die Container mit der holographisch optischen Pinzette ihrerseits angeordnet werden. Während bisher verwendete Methoden zur Anordnung der Nanocontainer nur eine sehr bedingte Kontrolle der einzelnen Container ermöglichen, gestattet der vorgestellte optische Ansatz erstmals die Selektion, Ausrichtung und Anordnung individueller Container mit Nanometerpräzision. Damit lässt sich hierarchische supramolekulare Organisation mit bisher unerreichter Flexibilität und Genauigkeit erreichen, zwei wesentliche Voraussetzungen für die Untersuchung und Entwicklung möglicher neuer Materialeigenschaften.

P9 **Systemintegration optischer Pinzetten**

A. Oeder, S. Sinzinger, Technische Universität Ilmenau, andreas.oeder@tu-ilmenau.de

Unsere Arbeiten im Bereich der optischen Fallen zielen auf die Entwicklung hochspezialisierter und effizienter Pinzettensysteme ab. Um die Leistungsfähigkeit integrierter optischer Pinzetten bewerten zu können, führen wir einen Systemeffizienzfaktor ein, der die tatsächlich für das Fangen genutzte Laserleistung mit der Fokussierbarkeit des Lasers (M^2) verbindet. Der Einfluss durch ausgewählte Systemkomponenten wird besprochen und Konsequenzen für die Integration von Pinzettaufbauten diskutiert.

Als Beispiel für hochintegrierte optische Pinzetten stellen wir eine monolithisch integrierte Fangoptik mit einem Arbeitsabstand von $650 \mu\text{m}$ vor. Durch spezielles Optikdesign ist eine Verdreifachung des Arbeitsabstands gelungen. Dadurch wird dreidimensionales Fangen durch ein Deckglas der Dicke $540 \mu\text{m}$ möglich. Das System wird von den Designüberlegungen über die Herstellung durch Ultrapräzisionsfräsen bis zur experimentellen Demonstration diskutiert.

P10 **Charakterisierung eines UPM-gefertigten 1x4 Strahlteilersystems mit Hilfe von Raytracing-Berechnungen**

M. Bohling, J. Jahns, FernUniversität Hagen, michael.bohling@fernuni-hagen.de

Ein 1x4 Strahlteilersystem wurde mit ultrapräzisen Bearbeitungstechniken (UPM) realisiert [1]. Das System besteht aus einem 6 mm starken PMMA-Substrat. Die Aufspaltung eines Eingangsstrahls in vier Ausgangsstrahlen wird durch Verwendung von zwei 1x2 Strahlteilern pro Lichtweg erzielt. Jeder Strahlteiler ist als Array von Mikroprismen ausgeführt. Die Strahlteilung erfolgt durch Reflexion des senkrecht einfallenden Strahls, wobei das Licht durch die beiden auftretenden Facettenorientierungen in zwei Richtungen (hier: $\pm 45^\circ$) reflektiert wird. Die Strahlausbreitung erfolgt in dem Substrat oberhalb des Grenzwinkels für Totalreflexion. Wir demonstrieren das System und präsentieren Simulationsrechnungen zum polarisations-optischen Verhalten und zu Fertigungstoleranzen.

P11 **Optische Faserspitzen für nanoskopische Anwendungen**

J. Bierlich, J. Kobelke, D. Brand, H. Bartelt, Institute of Photonic Technology, Jena, joerg.bierlich@ipht-jena.de

Quarzglasbasierte Fasertaper mit Spitzendurchmessern von wenigen 10 nm werden vielseitig angewendet, z.B. bei AFM, SERS, usw. Dabei nutzt man dotandenbeeinflusste Ätzgeschwindigkeitsunterschiede zur Spitzenausformung aus. Wir untersuchten die Möglichkeit der Herstellung sehr feiner Spitzenstrukturen unter Ausnutzung des in einigen Fasertypen vorhandenen Mittendips. Dabei ist die Dotandenkonzentration im Zentrum der Faser herstellungsbedingt praktisch auf Null abgesenkt und die Ätzrate wird minimiert. Wir untersuchten das Ätzverhalten germanium- und phosphordotierter Fasern und konnten dabei eine extreme Konzentrationsabhängigkeit der Ätzrate feststellen. Es wurde ein Gasphasenätzverfahren mittels HF-Dampf angewendet. Der Vorteil ist, daß alle Reaktionsendprodukte gasförmig anfallen (SiF_4 , GeF_4 , PF_3) und Oberflächenkondensationen, die häufig zu Ätzhomogenitäten führen, vermieden werden. Dabei wurden sehr schlanke Fasertaper mit Spitzendurchmessern um 50 nm präpariert. Im Beitrag werden technologische Untersuchungen (Ätzgeschwindigkeiten, Dotandenkonzentrationen), geometrische sowie topologische Charakterisierungen vorgestellt.

P12 **Rechnergestütztes Design und geometriebasierte Simulation 3D strukturierter optischer Wellenleiter**

Ch. Fischer, J. Franke, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg; K.-J. Wolter, R. Rieske, L. Overmeyer, M. Dumke, Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik, Dresden, cfischer@faps.uni-erlangen.de

Das rechnergestützte Design räumlicher Bau-gruppen erfordert die Integration der mechanischen Konstruktion sowie der elektronischen Layout-Gestaltung in eine einheitliche 3D-Entwicklungsumgebung. Das Pro/Engineer-Plug-In MID CAD bietet diese Funktionalität für spritzgegossene 3D-MID-Schaltungsträger. Für optoelektronische Baugruppen sind zusätzliche optische Konstruktionsfunktionen notwendig. Dabei werden einerseits produktions-spezifische Parameter (Manufacturing Rules), z. B. minimale Wellenleiterbreiten, berücksichtigt, um effektive Steuerungsprogramme ableiten zu können. Andererseits werden Materialkennwerte, z. B. minimale Biegeradien in Abhängigkeit der Brechungsindizes, ergänzend zur Geometrie gespeichert (Design Rules). Diese dienen u. a. als Grundlage für die Simulation der optischen Funktion und des Designs zur Testbarkeit. Zur Bestimmung der Design/Manufacturing Rules müssen die Lichtwellenleiter mittels experimenteller Charakterisierung und optischer Simulation validiert werden. Dieser Funktionsnachweis der Baugruppe kann nur bei voller Technologiekenntnis und Simulation der kompletten optischen Verbindung inklusive Signalkopplung an optoelektronische Bauelemente erfolgen.

P13 **Innovative Produktionsverfahren zur drucktechnischen Herstellung 3D-geführter optischer Wellenleiter**

M. Dumke, Leibniz Universität Hannover; D. Craiovan, J. Franke, L. Overmeyer, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik, Erlangen; R. Rieske, K.-J. Wolter, Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik, Dresden, michael.dumke@ita.uni-hannover.de

Zur Erschließung neuer Anwendungen im Bereich dreidimensionaler optischer Sensornetzwerke sind innovative Fertigungsprozesse für Wellenleiter inklusive der optischen Signalkopplung gefordert. In der vorliegenden Arbeit werden der Hochdruck auf flexiblen Substraten zur Erzeugung großflächiger und auch dreidimensionaler optischer Systeme sowie der Aerosoldruck zur Herstellung optischer Wellenleiter auf starren räumlichen Substraten in ihren prinzipiellen Verfahrensabläufen erläutert. Der Hochdruck wird vorwiegend im Zeitschichtendruck eingesetzt und basiert auf dem Rollenrotationsverfahren zur Übertragung des Drucks mittels flexiblen Druckplatten. Der Aerosoldruck nutzt das Prinzip der aerodynamischen Fokussierung und ermöglicht zerstäubtes Material sehr präzise aufzutragen. Die gewählten Druckverfahren werden im Besonderen in ihrer Übertragbarkeit auf Druckmaschinen der industriellen Praxis diskutiert. Erste experimentelle Ergebnisse werden zusammen mit der zugehörigen Messmethodik vorgestellt. Neben den typischen optischen Eigenschaften der Wellenleiter werden Schichtdicke, Formstabilität und Oberflächenrauheiten in Abhängigkeit der Prozessparameter diskutiert.

P14 **Realisierung eines Messplatzes zur Bestimmung der anregungsabhängigen Dämpfung optischer Wellenleiter**

M. Dumke, J.-F. Höffinghoff, L. Overmeyer, Institut für Transport- und Automatisierungstechnik, Leibniz Universität Hannover, michael.dumke@ita.uni-hannover.de

Herstellungsprozesse für integrierte Wellenleiter bewirken im Allgemeinen höhere Dämpfungsverluste im Vergleich zu Fertigungsmethoden für gezogene optische Fasern. Die Qualität der erzeugten Wellenleiter wird im Wesentlichen durch deren optische Übertragungseigenschaften bestimmt. Bei Polymer-Multimodewellenleiter ist die gemessene optische Dämpfung u. a. abhängig von den gewählten Aperturen zur Lichteinkopplung. Dieses Phänomen ist besonders stark für kurze Übertragungsstrecken ausgeprägt. Ziel der anregungsabhängigen Dämpfungsmessung ist die Evaluation integrierter Wellenleiter. Die Analyse der Wellenleiterdämpfung dient der Optimierung des Herstellungsprozesses. Durch Bestimmung der anregungsabhängigen Dämpfung ist es möglich die längenunabhängige Wellenleiterdämpfung zu ermitteln. Rückschlüsse auf das Herstellungsverfahren werden durch die Separation intrinsischer und extrinsischer Dämpfungsanteile ermöglicht. Zu diesem Zweck wurde ein optischer Messplatz entworfen und an Fasern mit bekannten Eigenschaften validiert. In dieser Arbeit werden der Aufbau des Messplatzes sowie die Validierung beschrieben.

P15 **Parallelisierte Strahldurchrechnung auf modernen Grafikkarten für optische Simulation und Design**

F. Mauch, W. Lyda, W. Osten, Institut für Technische Optik (ITO), Universität Stuttgart; D. Fleischle, Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering, Universität Stuttgart, mauch@ito.uni-stuttgart.de

Die geometrische Strahldurchrechnung (Raytracing) bildet seit vielen Jahren die Grundlage für das Design optischer Systeme. Dennoch ist die zur Strahlzahl lineare Rechenzeit ein Hindernis für viele prinzipiell mögliche Anwendungen. Eine automatisierte Streulichtoptimierung von optischen Systemen beispielsweise ist prinzipiell machbar, wird in der Praxis aber aufgrund der hohen Rechenzeit der Strahldurchrechnung oft unrentabel. Da Lichtstrahlen in linearen optischen Medien nicht untereinander wechselwirken, stellt die Strahldurchrechnung ein sehr gut parallelisierbares Problem dar. Damit bergen moderne Grafikkarten, die in den letzten Jahren getrieben von der Computerspielbranche erhebliche parallele Rechenkapazität entwickelt haben, ein großes Potential zur schnellen Lösung dieses Problems. Wir berichten über die Entwicklung eines double precision Raytracers, der die parallele Rechenarchitektur moderner Grafikkarten nutzt. Wir vergleichen die Geschwindigkeit dieses Tracers mit einem gleichzeitig entwickelten Raytracer für herkömmliche CPU Architekturen, der weitgehend identische Algorithmen nutzt, sowie mit kommerziell erhältlichen Raytracing Programmen.

P16 **Polarisationsmikroskop: Konoskopische Beobachtung**

J. Sprenger, Carl Zeiss Microlmaging GmbH, Göttingen, j.sprenger@zeiss.de

Die Anwendungen eines Polarisationsmikroskops reichen von Untersuchungen in biologischen Proben, über Kontrastierungen von anisotropen Strukturen, bspw. in der Spannungsoptik, hin zur Bestimmung und Untersuchung von Mineralien in der Geologie. Bei diesen Untersuchungen werden neben der orthoskopischen auch die konoskopische Betrachtung, d.h. das in der hinteren Brennebene des Mikroskopobjektivs entstehende Interferenzbild der Probe, genutzt. Bei dieser Beobachtung wird die Probe, bspw. ein Kristallkorn, von Parallelstrahlenbündeln unterschiedlicher Neigung durchsetzt, wobei infolge der gekreuzten Polarisatoren ausgelöschte Bereiche im Pupillenbild entstehen, die sog. Hauptisogyren. Die Beeinflussung dieses für den Kristall charakteristischen Isogyrenverlaufs durch Polarisations-effekte, hervorgerufen durch die zwischen Polarisator und Analysator befindliche Optik, soll durch Simulationsrechnungen untersucht werden.

P17 **Modellierung und Simulation bei Mask Aligner Lithographie (Source-Mask Optimization)**

J. Vogler, A. Bramati, R. Völkel, SUSS MicroOptics SA, Neuchatel, Schweiz; M. Hornung, R. Zoberbier, SUSS MicroTec Lithography GmbH Garching; K. Motzek, A. Erdmann, Fraunhofer IISB, Erlangen; L. Stürzebecher, U. Zeitner, Fraunhofer IOF, Jena, vogler@suss.ch

MO Exposure Optics, eine neue Beleuchtungsoptik für Mask Aligner, ermöglicht es ein nahezu beliebiges Winkelspektrum des Beleuchtungslichtes (Customized Illumination) zu erzeugen und damit die Auflösung der Lithographie gezielt zu verbessern. Eine weitere Verbesserung lässt sich durch Optical Proximity Correction (OPC), d.h. eine gezielte Optimierung der Ecken und Kanten der Maskenstrukturen und dem Hinzufügen von sogenannten Sub Resolution Assist Features (SRAFs) erreichen. Die Kombination von beiden Technologien wird als Source-Mask Optimization (SMO) bezeichnet. Diese aus dem Front-End (DUV Stepper, Scanner) wohl bekannte Technologie steht nun auch für Mask Aligner Lithographie zur Verfügung. Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung in die Produktion ist eine vollständige Modellierung und Simulation der gesamten Prozesskette von der Beleuchtung bis zum Photoresist. Diese Werkzeuge für eine „holistische“ Lithographie im Mask Aligner sind nun vorhanden. Simulation und experimentelle Ergebnisse werden verglichen. Im Ausblick werden weiterführende Lithographiemethoden wie Grauwert- Pinhole- und Talbotlithographie vorgestellt.

P18 **Gläser mit verbesserter Reintransmission: „HTultra“ Gläser**

R. Jedamzik, T. Rossmeier, SCHOTT AG, ralf.jedamzik@schott.com

Die Transmission optischer Gläser unterliegt physikalischer Grenzen in Abhängigkeit zur Glaszusammensetzung.

Diese Grenzen können ausgereizt und sogar verschoben werden, indem sowohl Fertigungstechnik als auch die Verwendung ausgewählter Rohstoffe optimiert werden.

Auf diese Weise entwickelte SCHOTT neue Varianten bestehender optischer Gläser mit verbesserter Reintransmission, die kürzlich als „HT“ und „HTultra“ Gläser dem Markt präsentiert wurden. Durch die signifikant verbesserte Transmission eignen sich diese Gläser vor allem als Prismenmaterial, mit dem temperaturbedingte Bildfehler in modernen Kinoprojektoren reduziert werden oder als Material zur Optimierung der Farbbrillanz von Objektiven sowie verbessertem Dämmerungssehen mit Ferngläsern.

P19

3D-Deformations- und Formerrfassung auf Basis von ESPI, DSP und digitaler Bildkorrelation projizierter Specklemuster

M. Dekiff, Ph. Berssenbrügge, D. Dirksen, Universitätsklinikum Münster, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde; B. Kemper, Centrum für Biomedizinische Optik und Photonik, Münster; C. Denz, AG Nichtlineare Photonik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, markus.dekiff@uni-muenster.de

Ein bewährtes Verfahren zur Vermessung mikroskopischer Deformationen ist die Elektronische Specklemuster-Interferometrie (ESPI). Für die vollständige Erfassung dreidimensionaler Deformationen ist jedoch die Aufnahme mehrerer Interferogramme bei verschiedenen Beleuchtungsrichtungen erforderlich. Daher ist die Beobachtung insbesondere dynamischer Prozesse mit aufwändigen Experimentalaufbauten verbunden. Eine Alternative stellt die Kombination eines axial-messenden ESPI-Systems mit der Digitalen Speckle-Fotografie (DSP) dar, die die Erfassung mikroskopischer Deformationen senkrecht zur optischen Achse erlaubt. Werden diese Verfahren zusätzlich mit einem fotogrammetrischen Verfahren zur Erfassung der 3D-Form der Objektoberfläche kombiniert, können auch makroskopische Verformungen erfasst werden. Außerdem ist so zu jedem Messpunkt der Sensitivitätsvektor bestimmbar. Für die Korrespondenzanalyse bei der fotogrammetrischen Auswertung bietet sich die Korrelation projizierter Specklemuster an, da zur strukturierten Beleuchtung des Messobjekts der vorhandene Laser des ESPI-Systems verwendet werden kann. Es werden Anwendungsbeispiele und Messergebnisse eines solchen Messsystems vorgestellt.

P20

Messung der elastischen Eigenschaften dünner Platten mittels Phase-Shifting Interferometrie

F. Salazar, ETSIMinas. Universidad Politécnica de Madrid, Spain, felixjose.salazar@upm.es

Unter Berücksichtigung der geometrischen Eigenschaften einer Platte, die Messgeräte häufig verwendet um das Youngsche Modul zu bestimmen nicht immer geeignet sind. Ziel dieser Arbeit ist die experimentelle Messung des E-Moduls einer Platte mit Hilfe eines Interferometers, welches auf der Phase-Shifting-Speckle-Interferometrie (PSSI) Technik basiert. Das (PSSI)-Verfahren ist eine bekannte Messmethode zur Deformationsanalyse, die einige Vorteile hat. Mit diesem Zweck, wird eine experimentelle Anordnung aufgebaut, die durch das Phasenbild erlaubt, die Verschiebungen auf jedem Punkt der Platte zu bestimmen. Messungen an Metalproben werden vorgestellt. Das Problem wird auch numerisch simuliert und verglichen mit den Laborexperimenten. Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen der klassischen Plattentheorie und der Praxis.

P21 **Kombinierte Ebenheits- und Rauheitsmessung mittels Speckle-Interferometrie**
Th. Bodendorfer, A.W. Koch, Lehrstuhl fuer Messsystem- und Sensortechnik, TU München, t.bodendorfer@tum.de

In zahlreichen Produktionsprozessen sind Ebenheit sowie Rauheit ausschlaggebende Größen bei der Qualitätskontrolle. In herkömmlicher Weise wird hier das Tastschnittverfahren als Standardmessprinzip eingesetzt, obwohl optische Messsysteme zahlreiche Vorteile gegenüber dem mechanischen Vermessen eines Werkstücks bieten: sie sind berührungsfrei, beschädigungsfrei und lassen sich oft aus großer Entfernung zum Messobjekt anwenden. In dieser Arbeit wird ein Messsystem vorgestellt, das sowohl Rauheit als auch Ebenheit einer Oberfläche mittels Speckle-Interferometrie erfasst. Hierbei werden die Verfahren der Zwei-Wellenlängen-Formvermessung und das Prinzip der spektralen Speckle-Korrelation in einem Messaufbau vereint. Neben der zugrundeliegenden Theorie und der Vorstellung des Messaufbaus werden erste Messergebnisse vorgestellt. Darüber hinaus wird ein Ansatz zur Steigerung der Genauigkeit der Ebenheits- und Rauheitsmessungen unter Berücksichtigung der jeweils anderen Größe vorgestellt.

P22 **Streulichtmessung mit Hartmann-Shack-Sensor am Auge**
St. Schramm, B.-U. Seifert, Technische Universität Ilmenau, stefan.schramm@tu-ilmenau.de

Aus Literatur und Patenten ist die Messung der Vorwärtsstreuung des vorderen Augenabschnitts mittels Hartmann-Shack-Sensors bekannt. In der Regel werden die einzelnen Punktantworten (PSF) separiert und bezüglich ihrer Form bzw. Intensität ausgewertet. Teilweise wird anhand der gemessenen Aberration die erwartete PSF errechnet und vom auszuwertenden Punktbild abgezogen. Ein großer Nachteil aller bekannter Methoden ist die Überlagerung der Streuung des eingestrahnten Lasers am Fundus mit der Streuung im vorderen Augenabschnitt. Die Volumenstreuung am Augenhintergrund ist dabei stark von der Wellenlänge und von der individuellen Beschaffenheit des Auges abhängig. Im Gegensatz zu den wenigen bekannten Studien aus der Literatur konnte in der hier vorgestellten Untersuchung kein eindeutiger Nachweis der Abhängigkeit vergleichbarer Parameter bezüglich des Streulichtes im vorderen Augenabschnitt erbracht werden. Gründe dafür liegen im Set-Up des verwendeten modifizierten Wellenfrontaberrometers (WASCA – CARL ZEISS MEDITEC Ag). Simulationen zeigten, dass eine möglichst kurze Brennweite am HS-Sensor nötig ist, um überhaupt eine zu erwartende Parameteränderung mit Streulichtzunahme hervorzurufen.

P23 Ermittlung der Licht-Streuung in Wasserdampf durch Simulation von Streuung in Nebel

K. Epple, M. Pfeffer, Hochschule Ravensburg-Weingarten; A. Gröning, M. Tahedl, ifm electronic GmbH, Tett nang, klaus.epple@gmx.de

Die genaue Teilchengrößenverteilung in Wasserdampf ist in den meisten Fällen eine unbekannte Funktion. Für eine Simulation der gestreuten Intensitätsverteilung versagen auf Grund der Teilchengrößen die üblichen Ray-Tracing Verfahren und die Mie'schen Formeln müssen herangezogen werden. Hierfür ist jedoch das exakte Verhältnis von Teilchengröße zu Wellenlänge erforderlich. In dieser Arbeit sind die Ergebnisse eines einfachen und schnellen Matlab-Algorithmus dargestellt. In diesem wird die Streuung jeweils an einem Einzelteilchen mit komplexem Brechungsindex errechnet und diese dann aufsummiert, gewichtet mit einer Gamma- Verteilungsfunktion der Tropfengröße. Herangezogen werden bekannte Verteilungen in Nebel mit verschiedenen Dichten. Durch die unterschiedlichen Tropfengrößen werden Einzeleffekte verwaschen und es entstehen charakteristische Ensembleeffekte. Die entstehenden Kurven werden durch die Ergebnisse von Streulichtmessungen an Wasserdampf bestätigt. Aus den unterschiedlichen charakteristischen Parametern lässt sich schließen, dass Wasserdampf mit einer Tropfenverteilung, wie in bestimmten Nebelarten vorhanden, mittels des eingesetzten Verfahrens simuliert werden kann.

P24 Kompakter streulichtbasierter Rauheitssensor

T. Herffurth, M. Hauptvogel, A. Duparré, A. Tünnermann, Fraunhofer IOF, Jena, tobias.herffurth@iof.fraunhofer.de

Die steigende Nachfrage nach sensitiven, prozessintegrierbaren Rauheitsmessungen resultierte in der Entwicklung des streulichtbasierten Rauheitssensors horos (high sensitive optical roughness sensor). Dieser kann zur berührungslosen, robusten und schnellen Rauheitscharakterisierung von reflektierenden Oberflächen mit rms-Rauheiten bis $< 0,5$ nm eingesetzt werden. Aus der mit einem CMOS-Sensor aufgezeichneten winkelaufgelösten 3D-Streulichtverteilung werden das Rauheitsspektrum im Ortsfrequenzbereich von $f = 0,02 \dots 0,2 \mu\text{m}$ sowie die rms-Rauheit ermittelt. Die gewonnenen Ergebnisse sind dabei mit denen aus Weißlichtinterferometer-Messungen vergleichbar. Zusätzlich erlaubt die 3D-Streulichtinformation die Anisotropieanalyse beliebiger Oberflächen. Die Robustheit des Messprozesses gegenüber geometrischen Störeinflüssen wird durch eine Unsicherheitsanalyse auf Basis eines virtuellen Messsystems bestätigt. Das Rauheitssensorkonzept kann in sehr kompakter Bauform umgesetzt und als mobiler Sensor genutzt werden. Damit ist es besonders zur Charakterisierung von großen und gekrümmten Oberflächen geeignet, die anderen Verfahren nicht zugänglich sind.

P25 **Asphärenmesstechnik im Rahmen des Europäischen Metrologie-Forschungsprogramms EMRP**

M. Schulz, G. Ehret, E. Buhr, C. Elster, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Michael.Schulz@ptb.de

Das „European Metrology Research Programme“ (EMRP) ist ein Metrologie-fokussiertes europäisches Programm zur koordinierten F&E der verschiedenen nationalen Metrologieinstitute. Die rückgeführte Messung der Form optischer Asphären und Freiformflächen wurde als ein EMRP-Projekt ausgewählt. Das europäische Projekt-Konsortium umfasst die nationalen Metrologieinstitute aus Belgien, Deutschland (Koordinator), Frankreich, Niederlanden, Ungarn, Schweiz und Tschechien. Daneben sind eine Reihe von „unfunded“ Partnern (Industrie und Institute) beteiligt sowie zwei spezielle im Rahmen so genannter „Researcher Excellence Grants“ geförderte Partner. Die rückgeführte Asphärenmesstechnik wird dabei verbessert durch eine parallele Weiterentwicklung und den Vergleich interferometrischer und antastender Verfahren. Durch diesen Vergleich sollen insbesondere systematische Einflussfaktoren der beiden Verfahren identifiziert und reduziert werden. Ein weiteres Ziel des Projekts ist die Entwicklung spezieller Vergleichsstrategien und Datenauswertungen, sowie die Bereitstellung geeigneter Probekörper. Der Inhalt und die geplanten Aktivitäten des dreijährigen Projektes werden in diesem Beitrag vorgestellt.

P26 **Polarkoordinaten Messsystem zur schnellen, hochgenauen Formvermessung asphärischer Oberflächen**

G. Berger, J. Petter, R. Nicolaus, Lumphos GmbH, Mainz, berger@lumphos.de

Die exakte 3D Topologievermessung ist eine große Herausforderung bei der Herstellung von optischen Präzisionsoberflächen wie bei asphärischen Linsen oder Freiformflächen. Für die Formvermessung mit hoher Genauigkeit stehen heutzutage nur wenige Verfahren zur Verfügung, die grundsätzlich in Systeme mit Bildauswertung und scannende Systeme unterschieden werden können. Dabei nutzen scannende Systeme entweder einen taktilen oder einen optischen Sensor. In unserem Beitrag stellen wir ein neues Metrologiesystem auf Basis von MWLI (MehrWellenLängenInterferometrie) Sensorik vor, das zu dieser letzten Systemklasse gehört und das Oberflächen mit einer Genauigkeit besser als 200 nm vermessen kann. In dem System wird das zu untersuchende Objekt mit einem Drehtisch rotiert, während ein MWLI Punktsensor (3-25 μm Spot) die Oberfläche berührungslos scannt. Der Sensor wird dabei durch Verwendung von drei Bewegungsachsen senkrecht über der Oberfläche geführt. Wir präsentieren das Systemkonzept und erklären, wie die hohe Genauigkeit erreicht wird. Schließlich diskutieren wir das Potential und die Grenzen des Systems anhand von Messungen auf asphärischen Linsen und Freiformflächen.

P27 **Deflectometric Measurement of 10,000 Telescope Mirror Tiles**
R. Krobot, Ch. Faber, E. Olesch, G. Häusler, Institute of Optics, Information and Photonics, University of Erlangen-Nuremberg; A. Schulz, F. Stinzinger, Ch. Stegmann, Erlangen Centre for Astroparticle Physics (ECAP), University of Erlangen-Nuremberg
roman.krobot@physik.uni-erlangen.de

The Cherenkov Telescope Array (CTA) is an international project to design, build and operate Cherenkov-radiation-based observatories for high energetic cosmic rays. For these kinds of observations, a large area on the ground has to be covered with telescopes, requiring a huge amount (>10,000) of mirror tiles. Each single mirror (~1m diameter, ~15m focal length) has to be tested. We will discuss how this can be done in a fast and accurate way by a modified deflectometric method, avoiding a tedious alignment of the specimen under test. Our method satisfies several additional requirements: In spite of the big diameter and long focal length, the testing can be done within the very limited space of a climate chamber (4.5m x 4m). Furthermore, the quantity of interest is the Point Spread Function (PSF) for rays coming from nearly infinity. Since deflectometry intrinsically delivers local slope data, the PSF for any required configuration can easily be calculated by ray tracing – without a prior (noise prone!) numerical differentiation of surface data. First measurement results obtained at different mirror prototypes are presented.

P28 **Deflectometry for Ultra Precision Machining - Measuring without Rechucking**
Ch. Röttinger, Ch. Faber, E. Olesch, G. Häusler, Institute of Optics, Information and Photonics, University of Erlangen-Nuremberg; M. Kurz, E. Uhlmann, Institute for Machine Tools and Factory Management, Technical University Berlin, christian.roettinger@physik.uni-erlangen.de

By ultra precision turning it is possible to manufacture aspheric optical surfaces with a roughness of less than 10 nanometers. To achieve the highest possible shape accuracy, a sequence of iterative rework runs is necessary. However, this requires to measure the workpiece within the limited working space of the machine in order to avoid rechucking. On the other hand, typical workpieces can exhibit a very high angular dynamic which has to be covered by the measurement system. Until now, no optical measurement technique was able to meet these challenging demands. Phase Measuring Deflectometry (PMD), which has already become an established tool to measure specular freeform surfaces, offers a means to solve this task. However, some major difficulties have to be overcome: due to the limited working space, data has to be gathered from different observation directions. Combining this data requires an accurate knowledge about the directions involved. We solve these problems by exploiting the flexibility and inherent accuracy of the machine axes during the measurement process. We will present first results of high angular dynamic measurements without re-chucking the workpiece.

- P29 **Options and limitations of “Flying Triangulation”**
F. Willomitzer, O. Arold, F. Huber, S. Ettl, G. Häusler, Institute of Optics, Information and Photonics, University of Erlangen-Nurember, florian.willomitzer@physik.uni-erlangen.de

In (Ettl et al., Proc. DGaO 2009: A13) and (Willomitzer et al., Proc. DGaO. 2010: P18) we introduced a new optical 3D measurement principle, “Flying Triangulation”. A single-shot sensor acquires a series of sparse 3D views which then are automatically aligned to each other in real time. A dense 3D model is comfortably acquired in a few seconds. A hand-guided motion-robust measurement of an object surface is possible without any external tracking. We will discuss some essential options and problems of the new concept: One option is the scalability which we exploit to build sensors for intraoral measurements, for human bodies, or even for entire rooms. Another option is the integration of color texture. We will further discuss a major information-theoretical question: What is the maximum achievable density of 3D data within one exposure, and to what extent can we approach this limit - by proper encoding of the illumination or by a posteriori unwrapping.

- P30 **3D body scanning with “Flying Triangulation”**
F. Huber, O. Arold, F. Willomitzer, S. Ettl, G. Häusler, Institute of Optics, Information and Photonics, University of Erlangen-Nuremberg, franz.huber@physik.uni-erlangen.de

In (S. Ettl et al., Proc. DGaO 2009: A13) we introduced the new measurement principle “Flying Triangulation” for the comfortable and motion-robust acquisition of 3D data. The sensor, based on single shot light sectioning, is freely guided around the object, while a series of sparse 3D views is generated. These views are aligned to each other “on the fly”. The measurement progress is displayed in real time and a dense 3D model is generated within a few seconds. This year we present a handheld 3D sensor based on Flying Triangulation, for large-scale objects such as human bodies or furniture, or even entire rooms. The motion-robust sensor consists of two cameras and two perpendicular laser line pattern projection systems. It can freely be moved around the object without requiring any external tracking system. The sensor has high potential in cultural heritage and medical applications such as surgery or as a motion tracking system in radiation therapy. We will show several applications and measurement results.

- P31 **Ein strukturierter Polarisationsanalysator, der die Poincaré-Kugel überspannt**
W. Dultz, Universität Frankfurt (Main); E. Frins, B. Hils, Universidad de la República Montevideo, Uruguay; H. Schmitzer, Xavier University Cincinnati, USA; L. Beresney, U.S. Army Res. Lab Adelphi, USA, requivalahanus@t-online.de

Strukturierte Polarisatoren transmittieren Licht von unterschiedlichem Polarisationszustand an den verschiedenen Orten ihrer Fläche. Anwendungsgebiete sind die Polarimetrie und Interferometrie, sowie besonders die 3D-Displaytechnik. Strukturierte Analysatoren sind im Prinzip gleich gebaut und können als Polarisationsanalysatoren dienen. Bisher sind Linearpolarisatoren bekannt, bei denen nur die Polarisationsrichtung strukturiert ist, für Analysezwecke sind aber strukturierte Analysatoren interessant, die alle Polarisationszustände umfassen. Wir stellen einen strukturierten Analysator mit kontinuierlicher Polarisationscharakteristik vor, der die gesamte Poincaré-Kugel überspannt und aus zwei gekreuzten Quarzkeilen besteht, von denen die Achsen des einen unter 45° zum Gradienten des Keils liegen. Auf dem 2-dimensionalen Verzögerungsareal der übereinandergelegten Keile kann der unbekannt Polarisationszustand lokalisiert werden. An Stelle der Quarzkeile können auch Flüssigkristallkeile verwendet werden. Erste experimentelle Ergebnisse werden gezeigt.

- P32 **Hochgenaue polarimetrische Kalibrierung von Quarz-Kontrollplatten**
M. Schulz, A. Fricke, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
Michael.Schulz@ptb.de

In vielen Bereichen der Chemie, Pharmazie sowie Nahrungsmittel- und insbesondere der Zuckerindustrie werden polarimetrische Messungen, d.h. Messungen der Drehung der Polarisationssebene von optisch aktiven Substanzen durchgeführt. Zur Kalibrierung der Messsysteme dienen üblicherweise Quarz-Kristalle („Quarz-Kontrollplatten“) mit bekanntem Drehwinkel. Die Genauigkeit dieses Drehwinkels muss für viele Anwendungen etwa $0,001^\circ$ sein. Für die Messung der Polarisationsdrehung von Quarz-Kontrollplatten ist in der PTB eine Messeinrichtung vorhanden, mit der diese Genauigkeitsanforderung erfüllt wird. Das Messprinzip nutzt die Auslöschung des Lichts bei gekreuzten Polarisatoren in Kombination mit einem Lock-In-Verfahren zur Auflösungsverbesserung, wobei einmal mit und ohne Probe gemessen wird. Mit einer Erweiterung der bisher verwendeten statischen Methode kann auch eine schnelle dynamische Messung durchgeführt werden. Dabei wird der Analysator kontinuierlich gedreht. Beide Verfahren werden vorgestellt und hinsichtlich der erreichbaren Genauigkeit miteinander verglichen.

P33 **Precise measurement of internal transmittance of high absorbing filter glass**
St. Reichel, R. Biertümpfel, SCHOTT AG, Mainz, steffen.reichel@schott.com

Optical filter glass plays an important role in many different applications like industrial equipment or health care. In some applications an exact knowledge of the transmittance of an optical filter glass is essential. However, in most cases the transmittance of a high absorbing filter cannot be measured. Thus, an exact value of the internal transmittance at a reference thickness is needed in order to calculate the transmittance for a much thicker filter glass sample. The calculation of the internal transmittance for optical glasses is well established. In the case of high transmittance the internal transmittance can be calculated using transmittance data originated from two different sample thicknesses. Filter glass does not fulfill this condition and the amount of absorption has an influence on the calculation of internal transmittance. SCHOTT presents a precise calculation method which takes into account the high absorption of filter glass based on a proposed special measurement technique. Typical measurement uncertainties are discussed and typical examples are presented. Finally recommendations for suitable sample thicknesses are given.

P34 **Erste Messungen mittels eines hochaperturigen 193 nm Mikroskops zur Strukturbreitenmessung**
B. Bodermann, Z. Li, D. Bergmann, A. Diener, H. Kuhn, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, bernd.bodermann@gmx.de

In der PTB wurde ein neuartiges mikroskopisch-optisches System zur Strukturbreitenmessung an Photomasken entwickelt und aufgebaut. Das System basiert auf einem hochaperturigen Mikroskop mit einer Abbildungs-NA von 0,9 und arbeitet bei einer Belichtungswellenlänge von 193 nm. Es wird rückgeführte Strukturbreiten-messungen an Mikro- und Nanostrukturen mit einer Messunsicherheit bis hinunter zu 10 nm ermöglichen. Das Beleuchtungssystem erlaubt eine inkohärente und homogene Beleuchtung mit einer Beleuchtungs-NA von 0,6. Mit ersten Testmessungen konnte eine Auflösungssteigerung von ca. 35% gegenüber dem bisherigen Strukturbreitenmesssystem der PTB demonstriert werden. Es wird der Status des DUV-Mikroskops und erste Messergebnisse vorgestellt. Das Systems ist konzipiert, um verschiedene Beleuchtungs- und Abbildungsverfahren bis hin zur Verwendung als Fourier-Scatterometer zu ermöglichen und damit das Potential des Systems weiter zu verbessern. Erste Tests zur Erweiterungen des Systems als Fourier-Scatterometer werden präsentiert.

P35 **Schnelle und genaue 3D-Vermessung**
M. Große, M. Schäffer, B. Harendt, R. Kowarschik, Universität Jena, Institut für Angewandte Optik, marcus.g@uni-jena.de

In den vergangenen Jahren gab es weltweit vermehrt Bemühungen, die Messzeit von optischen 3D-Messverfahren der strukturierten Beleuchtung zu verkürzen. Aufgrund der Limitierung durch die heutigen Projektionssysteme lässt sich die Projektionsrate nur bedingt steigern. Daher wird oft versucht, die Mustersequenzlänge zu reduzieren, wobei die Messgenauigkeit sinkt und komplexe Szenen, die Kanten oder Höhengsprünge aufweisen, nur schwer vermessen werden können. In unserem Tagungsbeitrag möchten wir daher ein Projektionskonzept vorstellen, mit dem sich eine sowohl sehr kurze als auch sehr genaue 3D-Vermessung realisieren lässt. Aufgrund der Leistungsfähigkeit des Projektionssystems ist die Messdauer nur noch durch die im Moment zur Verfügung stehende Kameratechnik limitiert, allerdings lässt sich das System nur für spezielle Methoden der strukturierten Beleuchtung anwenden. Im Moment werden bereits Projektions- und Aufnahmezeiten von 685 Hz realisiert, was bei dem verwendeten Ansatz der strukturierten Beleuchtung bis zu 45 dichte, genaue 3D-Aufnahmen pro Sekunde zulässt. Im Vortrag stellen wir das Beleuchtungskonzept vor und zeigen erste Ergebnisse.

P36 **Driving Structured-Illumination Microscopy towards the Limits of Efficiency and Accuracy**
M. Vogel, A. Kessel, Z. Yang, Ch. Faber, G. Häusler, Institute of Optics, Information and Photonics, University of Erlangen-Nuremberg, markus.vogel@physik.uni-erlangen.de

Structured-illumination microscopy (SIM) is an incoherent and simple method to measure technical surfaces with a height (z -) uncertainty down to a few nanometers. It can measure rough and smooth objects with steep slopes ($<80^\circ$). Thus, it is the proper tool to inspect wafers, micro optical components, micro cutting tools, etc. One advantage of SIM over white-light interferometry and confocal microscopy is that the z -sensitivity of the system can easily be scaled by the period of the projected fringes. Besides the fringe period there is another parameter, the sampling distance of the z -scan, that directly affects the resulting height uncertainty--and the measuring time (!).

We investigate how these two parameters have to be chosen for a desired height uncertainty to drive the sensor as information-efficiently as possible. We will further discuss a new method that enables a continuous scanning of the object without stop-and-go. All these ideas may help to pave the way for a fast, accurate and easy to use sensor.

P37

Optisch scannender Kollisionsschutz für hochpräzise MesseinrichtungenL. Selva Ginani, R. Theska, Technische Universität Ilmenau, luciano.ginani@tu-ilmenau.de

Feinste taktile Sensoren finden in der Nanomesstechnik breite Anwendung, und erlauben hochauflösende Messungen. Sie werden im Kontakt oder mit geringstem Abstand über die Oberfläche geführt und sind aufgrund des Arbeitsbereiches von wenigen Mikrometern stark bruchgefährdet. Über die zu messende Feinkontur liegen dabei keine verlässlichen Informationen vor. Zur Vermeidung von Kollisionen, muss mit stark reduzierter Geschwindigkeit gearbeitet werden. Dies führt zu unwirtschaftlichen Messzeiten und unnötig großen Datenmengen. Zur Lösung dieses Problems wird ein auf dem Prinzip des Laser-Scanning-Mikroskops aufbauender Kollisionsschutz vorgeschlagen. Eine schnelle vorausschauende Messung liefert Apriori-Informationen um die Messtrajektoriedynamisch anzupassen, ohne eine Einschränkung der Präzision oder eine Kollision zu riskieren. Der optisch scannende Kollisionsschutz wurde für Arbeitsbereiche von einigen Millimetern mit Nanometerauflösung konzipiert. Das Ziel ist ein vielseitig anwendbarer Aufbau mit bewusst einfacher Optik. Den dabei unvermeidlich auftretenden Abbildungsfehlern sollen durch Modellbildung und rechnerische Korrektur entgegengetreten werden.

P38

Optische Dezentrierungskompensation für DrehgeberD. Hopp, Ch. Pruss, W. Osten, Institut für Technische Optik (ITO), Universität Stuttgart, hopp@ito.uni-stuttgart.de

Ein grundsätzliches Problem für die Genauigkeit von Drehwinkelsensoren ist eine nicht zu vermeidende, mechanische Dezentrierung der Kodierscheibe und damit der Maßspur. Zumeist wird hier durch den Einsatz eines zweiten Lesekopfes oder einer separaten Detektoreinheit für den Scheibenversatz Abhilfe geschaffen. Die Kompensation erfolgt dabei als nachträgliche Korrektur des fehlerbehafteten Winkelsignals. Vorgestellt wird eine neuartige, rein optische Kompensationsstrategie, welche bereits vor der eigentlichen Signalentstehung wirkt und so eine Kompensation ohne zusätzliche Leseköpfe oder Elektronik ermöglicht.

P39

Monolithisches optisches Freiformelement für eine IR-DetektorzeileSt. Riehemann, M. Palme, R. Steinkopf, P. Munzert, G. Notni, Fraunhofer IOF, Jena; J. Krieg, Fraunhofer IOSB, Ettlingen, stefan.riehemann@iof.fraunhofer.de

Es wird ein neuartiges optisches System für eine IR-Detektorzeile präsentiert, welches aus nur einem monolithischen optischen Element mit 3 optischen Freiformflächen - teilweise verspiegelt - besteht. Das optische Design (Zielparameter: Wellenlängenbereich 0.9 μm bis 1.7 μm , Feldwinkel $75^\circ \times 2^\circ$, Winkelauflösung $0,5^\circ$) wird beschrieben. Zwei der drei optischen Flächen sind bikonisch gestaltet, eine ist zylindrisch ausgeführt. Das berechnete Bauteil wurde anschließend mittels Diamant UP-Bearbeitung gefertigt. Zwei der optischen Flächen wurden für den genannten Spektralbereich verspiegelt. Das realisierte Element wurde charakterisiert und die realisierte optische Leistungsfähigkeit mit den berechneten Werten überprüft.

verschiedene Themen der angewandten Optik

P40 **Hochgenaue Freiformflächen durch Präzisions-spritzguss für Massen Anwendungen**
L. Dick, JENOPTIK Polymer Systems GmbH, Triptis, lars.dick@jenoptik.com

Spritzgussverfahren ermöglichen eine kostengünstige Abformung hochpräziser Kunststoff-optiken für Massen Anwendungen. Werden dabei für die optische Funktion nicht-rotations-symmetrische Freiformflächen benötigt, wie z.B. bei "head mounted devices" (HMDs), "head up displays" (HUDs) oder innovativen LED-Beleuchtungsoptiken, ist für deren optische Qualität die Formgenauigkeit der Freiformflächen entscheidend. Diese wiederum hängt zum einen von der Güte der Formeinsätze ab, die in Ultrapräzisionsbearbeitungsmaschinen mittels Slow Tool Servo Funktion und monokristallinem Diamantwerkzeug gefertigt werden. Zum anderen spielt der Abformprozess durch Spritzguss- und Spritzprägeverfahren eine zentrale Rolle. Anhand einer Zernike – Freiformfläche wird eine Prozesskette zur Korrekturbearbeitung von Freiformflächen dargestellt mit der es möglich ist, Formgenauigkeiten im sub - μm Bereich unter $0,5 \mu\text{m p-v}$ am Abformwerkzeug zu erreichen. Dabei spielen Messtechnik, Auswertalgorithmen und Umgebungsbedingungen eine entscheidende Rolle. Im Anschluss daran wird ein Spritzprägeprozess dargestellt, mit dem es möglich ist, sehr hohe Abformgenauigkeiten der Freiformfläche zu erzielen.

P41 **Ultrapräzisionsgefräste optische Bauelemente – Analyse und Optimierung der Leistungsfähigkeit**
S. Stoebenau, S. Sinzinger, Technische Universität Ilmenau, sebastian.stoebenau@tu-ilmenau.de

Bezüglich der Herstellbarkeit einer maximalen Formenvielfalt optischer Bauelemente und Mikrosysteme besitzt das Ultrapräzisionsfräsen ein besonders großes Potential. Verschiedene Funktionalitäten lassen sich damit in einem hochintegrierten System zusammenfassen. Beispiele hierfür sind Analysesysteme, in denen fluidische und optische Wirkflächen in einem Maschinenzentrum in einer Werkstückaufnahme mit dem gleichen Werkzeug gefertigt werden. Dabei sind hohe Formtreuen bei einer geringen Oberflächenrauheit erreichbar. Gleichwohl hinterlassen monokristalline Diamantfräser aufgrund der geometrisch bestimmten Schneide in Abhängigkeit von der ausgewählten Bearbeitungsstrategie charakteristische Werkzeugspuren. Aufgrund des zumeist hohen Grades der Periodizität und den damit einhergehenden Beugungseffekten beeinflussen diese die optische Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems. Anhand ausgewählter Beispiele werden diese Effekte mittels verschiedener Simulationen und Experimente veranschaulicht und diskutiert. Abschließend werden hieraus Handlungsweisen zur Optimierung der Oberflächenqualität abgeleitet sowie deren Umsetzung präsentiert.

verschiedene Themen der angewandten Optik

P42 **Variation des Prestonkoeffizienten in Abhängigkeit der Relativgeschwindigkeit im Polierprozess**

A. Kelm, R. Börret, HTW Aalen, Andreas.Kelm@htw-aalen.de

In der traditionellen Herstellung von Linsen findet ein Polierprozess Verwendung, um die raue Oberfläche der Linse zu glätten sowie die Oberflächenfehler des Schleifprozesses zu korrigieren. Bei rotationssymmetrischen Oberflächen dreht sich dabei, zusätzlich zum Polierwerkzeug, die zu polierende Oberfläche. Laut Preston ist der Einfluss unterschiedlicher Relativgeschwindigkeiten auf den Volumenabtrag der Politur bei vollflächig aufliegenden Werkzeugen vernachlässigbar. Bei Verwendung von Subaperturwerkzeugen ist diese Annahme nicht mehr haltbar und eine Berücksichtigung in der Optimierung des Polierabtrags notwendig. Die, zurzeit in der Industrie verbreiteten Simulations- und Optimierungsprogramme, verwenden oftmals eine von der Position unabhängige Abtragsfunktion und sind damit nur mit Einschränkungen für die Optimierungsrechnung der Politur rotationssymmetrischer Linsen geeignet. Dargestellt werden ein Verfahren zur Messung der Variation des Prestonkoeffizienten in Abhängigkeit der Relativgeschwindigkeit, die Korrektur sowie die Erprobung in praktischen Polierversuchen.

P43 **Design und Fertigung von Freiformflächen für hochwertige LED-Architekturbeleuchtung**

A. Hofmann, A. Timinger, OEC AG, München, hofmann@oec.net

LEDs bieten ein großes Potential zur Energieeinsparung in der Beleuchtung. Dabei bestehen die beiden größten Herausforderungen bei der Entwicklung hochwertiger Leuchten einerseits im Optikdesign, andererseits in der Fertigung. Beide Aspekte konnten wir am Beispiel der Architekturbeleuchtung im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projektes bearbeiten und stellen hier die Ergebnisse vor. Zum einen ist ein gutes Optikdesign wesentlich für LED-Beleuchtung. Die Kombination von LEDs mit maßgeschneiderten Freiformoptiken ermöglicht die Realisierung individueller Lichtverteilungen mit hoher Effizienz und minimalem Streulicht. Zum anderen haben wir die Potentiale unterschiedlichster Fertigungsverfahren im Hinblick auf erreichbare Genauigkeiten und wettbewerbsfähige Kosten für unterschiedliche Seriengrößen analysiert.

verschiedene Themen der angewandten Optik

P44

Modellierung und Bearbeitung optischer Flächen mittels CAD/CAM-Software

Ch. Vogt, F. Schneider, H. Adelsberger, Hochschule Deggendorf,
christian.vogt@fh-deggendorf.de

Für die Bearbeitung makroskopischer Optiken wie Linsen oder Spiegel, bieten Hersteller wie Schneider, Satisloh oder OptoTech hoch spezialisierte Maschinen für die verschiedenen Arten von Optiken an (Sphärik, Asphärik).

Die vom Hersteller bereitgestellte Software weist in den meisten Fällen eine auf das jeweils spezialisierte Gebiet von Bauteiltypen zugeschnittene Funktionalität auf, so dass der Anwender die theoretisch durch die konstruktiven Eigenschaften der Maschine zur Verfügung stehenden Möglichkeiten praktisch nicht voll nutzen kann.

Anhand einzelner Beispiele wird erörtert, inwiefern der Einsatz eines CAD/CAM-Systems eine Ergänzung zu den herstellerspezifischen Systemen darstellt, um den Funktionsumfang entsprechender Bearbeitungszentren zu erweitern, und welche Vor- bzw. Nachteile sich daraus ergeben.

Keywords: Meander grinding, spiral grinding; freeform, CAD/CAM, tool-path

P45

Messaufbau zur bi-spektralen Messung der Fluoreszenzeigenschaften von reflektierenden Materialien

A. Günther, K.-P. Gründer, Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Berlin,
alexander.guenther@bam.de

Der Einsatz von fluoreszierenden Materialien verbessert die Sichtbarkeit für Signalisations- und Warnzwecke. Zur Bestimmung der spektralen Reflexionseigenschaften solcher Materialien wird die bi-spektrale Zwei-Monochromatoren-Methode eingesetzt. Hierbei wird die Probe mit monochromatischer Strahlung bestrahlt. Hierzu wird ein Doppelmonochromator mit einer Xenon- und Halogenlampe verwendet. Mit diesem System ist es möglich, die Proben in einem Wellenlängenbereich von ca. 270 nm bis 850 nm anzuregen. Für jede Anregungswellenlänge wird das emittierte Spektrum der Probe mit einem Array-Spektrometer gemessen. Diese Daten werden zur Donaldson-Matrix [1] zusammengefasst, welche eine beleuchtungsunabhängige Eigenschaft des Probenmaterials darstellt. Aus der Donaldson-Matrix lassen sich die Reflexions-, Fluoreszenz- und Anregungsspektren berechnen. Die radiometrische Rückführung erfolgt über ein weißes Reflexionsnormal und einen Referenzstrahlungsempfänger. Im Poster wird der optische Aufbau zur Bestimmung von Fluoreszenzeigenschaften mit der Zwei-Monochromatoren-Methode dargestellt.

[1] R. Donaldson: Spectrophotometry of Fluorescent pigments In: British Journal of Applied Physics 5, 1954

verschiedene Themen der angewandten Optik

- P46 **Ein goniometrisches Farbmesssystem für Anwendungen in der Farbgebung**
Ph. Berssenbrügge, D. Neumann, Ch. Runte, M. Dekiff, D. Dirksen, Universitätsklinikum Münster, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde; C. Denz, AG Nichtlineare Photonik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, berssenbruegge@uni-muenster.de

Die Herstellung von Prothesen oder Epithesen, d. h. von künstlichem Ersatz für Körperteile, beinhaltet oft auch die Nachstellung von Farben beispielsweise der betreffenden Hautoberfläche. Dies erfordert die messtechnische Charakterisierung der Farbe von zum Teil semitransparenten Oberflächen in einem wahrnehmungsbasierten Modell. Darauf aufbauend kann dann eine Farbgebung erfolgen, d.h. die Berechnung eines Rezeptes von Farbmittelkonzentrationen, das zur Nachstellung der gegebenen Farbprobe nötig ist, anhand von Spektraldaten der Probe und einer Eichreihe von Rezepten mit bekannten Farbmittelkonzentrationen. Die in der Farbmetrik üblichen Photospektrometer beschränken sich in der Regel auf eine Geometrie, die die Messung des Remissionsspektrums einer Farbprobe nur unter einem einzigen oder wenigen verschiedenen Winkeln zulässt. Vorgestellt wird ein goniometrisches Farbmesssystem sowie dessen Charakterisierung und Kalibrierung. Es ermöglicht die Erfassung einer Serie von Remissionsspektren mit hoher Winkelauflösung und damit die Farbgebung für Proben mit anisotrop farbigen Oberflächen.

- P47 **Möglichkeiten und Grenzen der interferenzlithografischen Herstellung modulierter Blazegitter**
M. Burkhardt, O. Sandfuchs, A. Gatto, R. Steiner, Carl Zeiss Jena GmbH; S. Sinzinger, Technische Universität Ilmenau, m.burkhardt@zeiss.de

Interferenzlithographisch hergestellte holographisch-optische Bauelemente (HOEs) stellen eine leistungsfähige Alternative zu beugungsoptischen Bauelementen dar, die mit klassischen lithographischen Verfahren hergestellt werden. Eine generelle Problemstellung ist dabei die Anpassung der beugenden Strukturen an eine bestimmte Anwendungswellenlänge. Oft besteht jedoch auch der Anspruch, derartige Elemente für mehrere Wellenlängen oder, wie z.B. in der Spektroskopie, für größere spektrale Bandbreiten auszulagern. Zur Beeinflussung bzw. Umverteilung der spektralen Effizienzcharakteristik ist die gezielte Modulation der Profilform (Höhenvariation, Blazewinkel) über das gesamte Element anwendbar. Technologische Herausforderung ist dabei die Generierung einer modulierten Resistmaske bereits im lithografischen Prozess. Wir diskutieren die Profilentstehung an Hand eigener Simulationsrechnungen zur Resiststrukturierung mit gegenläufigen Wellen sowie experimentell gewonnener Daten. Das nutzbare Prozessfenster, innerhalb dessen sich effiziente Blazestrukturen mit lokal variierender Tiefe bei unverändertem Interferenzfeld generieren lassen, wird dabei abgeleitet.

verschiedene Themen der angewandten Optik

P48 **Beugungsexperimente an helikalen und sinusoidalen Strukturen, die Rosalind Franklin's Entdeckung der DNA Struktur veranschaulichen**

H. Schmitzer, G. Braun, J. Thompson, D. Tierney, Xavier University, Cincinnati, USA, schmitzer@xavier.edu

R. Franklin (1920-1958) verwendete Röntgenstrahlbeugung um die Struktur von DNA zu bestimmen. Ihre Fotos des Beugungsmusters waren ein wichtiger Anhaltspunkt dafür, dass DNA ein helikales Molekül ist. Wir stellen zwei Optikexperimente vor, die Rosalind Franklin's Fotos im Sichtbaren replizieren. Im ersten Experiment beugen wir Licht an der helikalen Feder eines Kugelschreibers. In einer einfachen Betrachtungsweise, die nur die Beugungsformel am Mehrfachspalt benötigt, können bereits der Steigungswinkel, der Durchmesser und die Ganghöhe der Helix abgeleitet werden. Im zweiten Experiment beugen wir Licht an winzigen Löchern, die sinusförmig angeordnet sind: Die Löcher stellen die schweren Phosphatatom am Rückgrat der DNA dar und das sinusförmige Muster stellt die Helix in Projektion dar. Die Beugungsmuster beider Experimente zeigen die charakteristischen Eigenschaften des berühmten Röntgenstrahlfotos "Photo 51" des DNA Moleküls. Wir zeigen ausserdem, daß sich das resultierende Beugungsmuster als Produkt der Fouriertransformierten dreier einzelner Unterstrukturen berechnen läßt. Ein Vergleich mit unseren Experimenten und "Photo 51" zeigt die Gültigkeit unseres mathematischen Modells.

P49 **DFB-Hochleistungslaserdioden bei 980 nm Wellenlänge**

J. Koeth, W. Zeller, nanoplus GmbH, Gerbrunn; M. Kamp, Technische Physik, Universität Würzburg, wolfgang.zeller@nanoplus.com

Monomodig emittierende Laserdioden mit verteilter Rückkopplung (DFB) kommen bei zahlreichen Anwendungen in verschiedensten Wellenlängenbereichen zum Einsatz. Ihre Leistung wird aber oft durch die relativ geringe Fläche des Nahfelds limitiert, da die dadurch bedingten hohen Leistungsdichten zu Schädigungen der Laserspiegel (COD) führen. Im Spektralbereich um 980 nm ist die Leistung von DFB Lasern hierdurch auf ca. 150 mW beschränkt. Gerade metrologische Anwendungen profitieren jedoch enorm von höheren Leistungen.

Ein neues Konzept kombiniert optimierte Schichtstrukturen mit einem neuen Design der Wellenleiterstege. Durch eine asymmetrisch in einer sehr großen optischen Kavität (LOC) angeordnete aktive Schicht können die Fernfeldwinkel drastisch reduziert werden. Eine zusätzliche Verjüngung der Wellenleiterstege im Bereich der Laserfacetten führt dazu, dass die Lichtmode in die LOC gedrängt wird. Dort verteilt sie sich über eine sehr viel größere Fläche als bei herkömmlichen DFB-Lasern. Die damit einhergehende Abnahme der Leistungsdichte erlaubt sehr hohe Leistungen. Der Ansatz ist mit gängigen Vergütungs- und Passivierungsverfahren kompatibel. Wir stellen darauf beruhende 980 nm DFB Laser mit COD-Schwellen von über 1.5 W vor.

verschiedene Themen der angewandten Optik

P50 **Erzeugung breitbandiger und kohärenter Superkontinuums-Strahlung in normaldispersiven optischen Fasern**

A. Hartung, Institut für Photonische Technologien e.V., Jena, alexander.hartung@ipht-jena.de

Superkontinuums-Strahlung (SC) für zeitlich sensitive Anwendungen wie z.B. in der Pump-Probe-Spektroskopie werden heutzutage mit Energien von einigen 10 μJ in nichtlinearen optischen Kristallen mit kurzer transversaler Ausdehnung erzeugt. Nur auf diese Weise ist es bisher möglich, eine große spektrale Bandbreite zu erreichen während zeitlich ein einzelner Puls erhalten bleibt. Optische Fasern bieten ebenfalls die Möglichkeit der Erzeugung von SC bei deutlich geringeren Pulsenergien. Jedoch wird dabei üblicherweise der Eingangspuls in Wellenlängenbereichen mit anomaler Dispersion eingekoppelt und durch Solitonenzerfall in mehrere komplexe Ausgangspulse aufgespalten. Dadurch sind diese SC-Pulse für zeitlich sensitive Prozesse nicht mehr geeignet. In Bereichen normaler Dispersion bleibt auch nach längerer Propagationsdistanz ein Einzelpuls erhalten. Wir zeigen theoretisch und experimentell, dass spezielle mikrostrukturierte Fasern mit normaler Dispersion im gesamten Spektralbereich und einem Maximum nahe der Pumpwellenlänge ebenfalls für die Erzeugung breitbandiger und kohärenter SC geeignet sind.

P51 **High efficient transmission- and reflection gratings for femtosecond pulse compression applications**

Ch. Ziener, M. Bender, H. Heeren, R. Müller, P. Weißbrodt, JENOPTIK GmbH, Jena; E. B. Kley, F. Brückner, FSU Jena, Christian.Ziener@Jenoptik.com

The invention of Chirped Pulse Amplification (CPA)¹ has opened up a wide range of applications for pulsed lasers with picosecond to femtosecond pulse lengths. This technique uses the large bandwidth of short pulse lasers for temporally stretching, amplification and subsequent re-compression of the laser pulse. For the compression almost exclusively gratings are used. For this particular application dielectric gratings have clear advantages concerning efficiency and high damage threshold. Here, we report on the fabrication of high efficient, large area pulse compression gratings operating in transmission or reflection mode with efficiencies of more than 97%. Highly efficient dielectric reflection gratings for 1030 nm and 1057 nm wavelength with a groove density of 1740 lines per mm were developed. These gratings consist of a stack of alternating $\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$ double layers and show efficiencies of more than 97% over an area of 70x25 mm². In addition to the reflection gratings we present large area efficiency enhanced pulse compression gratings (transmission e²PCGs). Typical transmission gratings for high groove densities of > 1480 lines per mm and wavelength > 1000 nm suffer from high reflection losses due to the desired Littrow-configuration. We investigated designs and fabrication techniques for wavelengths above 1030 nm with a groove density of ³ 1700 lines per mm and achieved efficiencies of more than 98% over apertures of 70x20 mm². Because of the higher transmission and lower absorption the presented gratings allow even more compact setups, due to the feasibility of smaller grating dimensions for higher laser powers.

Keywords: nanofabrication, nanotechnology, pulse compression gratings, ultrafast lasers, femtosecond lasers, transmission gratings, reflection gratings

¹ D. Strickland, G. Morou; Opt. Com. 40, 447 (1985)

verschiedene Themen der angewandten Optik

P52

Echtzeitfähige Laserstrahlregelung zur Kompensation thermischer Effekte

O. Pütsch, V. Morasch, M. Ch. Funck, P. Loosen, TOS der RWTH Aachen,
oliver.puetsch@ilt.fraunhofer.de

Bei der Verwendung von diodengepumpten Festkörperlasern führt die thermische Linsenwirkung im Laserkristall zur Veränderung der Strahcharakteristik. Damit ist eine zeitlich konstante Fokussierung bei verschiedenen Ausgangsleistungen des Lasers nicht mehr möglich. Anhand eines miniaturisierten Slab-Lasers wird eine Lösung vorgestellt, den dynamischen Einfluss der thermischen Linse außerhalb des Resonators zu kompensieren. Aufbauend auf verschiedenen Simulationsansätzen werden die veränderten thermo-optischen Eigenschaften des laseraktiven Mediums bestimmt und eine Kompensationsoptik entwickelt. Durch Einbindung von Piezo-Aktorik und CCD-Sensorik in einen geschlossenen Regelkreis findet eine kontinuierliche Minimierung der Abweichung des Strahlprofils statt. Die Regelung erfolgt auf einer echtzeitfähigen Systemplattform durch die deterministische Ausführung von Regelalgorithmen. Neue Möglichkeiten um die Optimierung zuvor aufgestellter Kriterien noch weiter voranzutreiben erschließen sich durch die Integration der Simulation des Verhaltens des Lasersystems in den Regelkreis

P53

Quantitative Phasenrekonstruktion in Echtzeit unter Verwendung der Intensitäts-Transport-Gleichung

J. Frank, J. Beneke, S. Wette, St. Altmeyer, Fachhochschule Köln; J. Matrisch, Fachhochschule Koblenz; G. Wernicke, Humboldt-Universität zu Berlin, johannes.frank@fh-koeln.de

Mitte der 80er Jahre wurde von M.R. Teague das erste quantitative nicht-interferometrische, nicht-iterative Verfahren zur Phasenbestimmung auf Basis der Intensitäts-Transport-Gleichung (ITG) publiziert. Die ITG beschreibt den deterministischen Zusammenhang zwischen der Phasenverteilung eines Wellenfeldes und zugehörigen Intensitätsverteilungen in verschiedenen Ebenen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Zur Rekonstruktion der Phasenverteilung eines zu untersuchenden Objektes benötigt dieses Verfahren als Eingangsdaten lediglich Aufnahmen des Objektes aus unterschiedlichen Schärfenebenen. Diese lassen sich mit einfachen zweidimensionalen (CCD-)Sensoren detektieren. Unter Verwendung eines auf der ITG basierenden Algorithmus wurde erstmals ein optisches System aufgebaut, mit dem es möglich ist, quantitative Messungen der Phasenverteilung in Echtzeit durchzuführen. Das Verfahren eignet sich für die Untersuchung von transparenten und reflektierenden Objekten unter Berücksichtigung ihrer spezifischen Randbedingungen. Das optische System wurde hierbei mit einem gewöhnlichen Hellfeld-Mikroskop realisiert.

verschiedene Themen der angewandten Optik

P54

Talbot images formed with an arbitrary incidence wave

N. Sabitov, D.-P. Kelly, Th. Meinecke, S. Sinzinger, Technische Universität Ilmenau,
nail.sabitov@tu-ilmenau.de

When a plane wave illuminates a spatially periodic structure (grating), the resulting diffracted field reproduces images of the diffracting structure at special (Talbot) distances behind the grating. In practice however the finite extent of the grating and non-ideal plane wave illumination, lead to deviations between the reproduced Talbot image and the original input. In this paper we propose a novel analytical technique for describing the diffraction pattern formed behind a grating that allows us to account for both of these effects, thereby providing new insight into the diffraction process. The theoretical predictions of our model are confirmed with numerical simulations. Some applications of our technique to estimate the wave-front of an optical field are discussed.

P55

Numerical propagation algorithms and phase retrieval techniques

Th. Meinecke, D.-P. Kelly, N. Sabitov, S. Sinzinger, Technische Universität Ilmenau,
thomas.meinecke@tu-ilmenau.de

Both Digital Holography (DH) and Phase Retrieval (PR) are techniques for estimating the complex amplitude of an optical wavefield. This information is useful and can be used for example to measure the deformation of rough surfaces or to examine the distribution of particles over a 3D volume. Free-space PR techniques use a propagation algorithm and at least two known intensity distributions (located in different optical planes) in an iterative procedure to estimate the phase. Since the PR problem is under-determined, there is generally not a unique solution and so the DH approach is considered more accurate. In this contribution we first examine how the choice of propagation algorithm affects the PR performance theoretically using numerical simulations. Then experiments are performed where the results from our PR algorithms are directly compared to the phase distribution estimated using DH. Our findings are discussed in a short conclusion section.

verschiedene Themen der angewandten Optik

Kaufmann-Präzisions-Optik (ein Rückblick)

H. W. Kaufmann, Fa Horst W. Kaufmann-Präzisions-Optik, Crailsheim, h.w.kaufmann@t-online.de

Die Fa. Horst W. Kaufmann-Präzisions-Optik wurde 1973 als "one man company" gegründet und hat diesen Status bis heute praktisch behalten. Es war von Beginn an die Absicht eine Werkstatt zu führen, welche in erster Linie die Erfordernisse von wissenschaftlichen Institutionen im Hinblick auf Sonderoptik, die man nicht in Katalogen findet, zu erfüllen. Man gewann Kunden in Forschungsstätten von Universitäten und Max-Planck-Instituten, wobei die Astronomie eine besondere Rolle einnahm. Die Fertigung astronomischer Optik, z.B. Spiegeloptiken oder kompletten Systemen wurden bis zu einer Größe von über 800 mm verwirklicht. Mit Stolz kann darauf hingewiesen werden, dass diese Optiken aus der Werkstatt Kaufmann-Präzisions-Optik nicht nur in Deutschland, sondern auch in anderen Teilen der Welt zu finden sind. Es wurden aber auch Forschungsstätten der Industrie als Kunden gewonnen, wo man Interferenz-Optik höchster Genauigkeit benötigte. Die auf diesem Gebiet erreichten Genauigkeiten wurden in wenigen Nanometer ausgedrückt (so wies eine von der PTB Braunschweig geprüfte und dokumentierte Planplatte mit 240 mm fr. Durchmesser nur Abweichungen von +/- 6 Nanometer auf). Präzise Prismen konnten mit Winkelfehlern von kleiner als 0,3 Bogensekunden gefertigt werden. Bis heute nimmt Sonderoptik einen hervorragenden Platz in der Firma Kaufmann-Präzisions-Optik ein. Auch nach fast 40 Jahren bleiben als wichtigste Stützen die Qualität und die Flexibilität.

verschiedene Themen der angewandten Optik

Autorenverzeichnis

Name	Referat(e) auf Seite(n)	Name	Referat(e) auf Seite(n)
Abd El-Maksoud R. H.	34	Brodersen O.	16, 20, 98
Adelsberger H.	138	Brückner C.	94
Akcakoca U.	18	Brückner F.	144
Alpmann Ch.	48, 104	Brunn A.	82
Altenberger M.	24	Brunner R.	74
Altmeyer St.	146	Büchner M.	56
Ambacher O.	102	Buhr E.	120
Amberg M.	98	Burke J.	10
Arold O.	124	Burkhardt M.	74, 140
Auer M.	76	Burla A.	40
Babovsky H.	94, 96	Carl D.	78, 82
Baier M.	12	Chichkov B. N.	28
Baitinger H.	90	Craiovan D.	108
Bär J.	14	De Cola L.	104
Bartelt H.	70, 72, 106	Dekiff M.	114, 140
Becker M.	72	Delacrétaz Y.	82
Bender M.	144	Denz C.	48, 104, 114, 140
Beneke J.	146	Denzel J.	88
Beresney L.	126	Depeursinge Ch.	82
Berger G.	120	Devaux A.	104
Berger R.	58	Dick L.	134
Bergmann D.	128	Diener A.	128
Bergmann R. B.	10	Dienstbier Ph.	14
Berssenbrügge Ph.	114, 140	Dietzsch E.	62
Bich A.	60	Dirksen D.	114, 140
Bielke A.	14	Dörband B.	24
Bierlich J.	106	Dultz W.	126
Biertümpfel R.	128	Dumke M.	108, 110
Binder J.	92	Duparré A.	26, 118
Bischoff J.	90	Ehret G.	12, 120
Bitti F.	20	Elsmann T.	72
Blug A.	78	Elster C.	12, 120
Bodendorfer Th.	116	Emery Y.	82
Bodermann B.	28, 128	Englert M.	74
Bohling M.	100, 106	Epple K.	118
Bonifer St.	28	Erdmann A.	112
Börret R.	136	Eßeling M.	48
Bothe Th.	10	Ettemeyer A.	82
Brahm A.	94	Ettl S.	124
Bramati A.	112	Faber Ch.	10, 12, 14, 122, 130
Brand D.	106	Fercher A. F.	94
Braun G.	142	Ferreras Paz V.	28
Brenner K.-H.	18, 32, 76, 98, 100	Finster J.	52
Breitbarth A.	88	Fischer Ch.	108
Brinkmann M.	74	Fleischle D.	58, 110

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

Förster R.	94
Frank J.	146
Franke J.	108
Fratz M.	82
Frenner K.	28
Frey K.	44
Fricke A.	126
Frins E.	126
Fritz K.-P.	50
Fritzenreiter A.	12
Funck M. Ch.	146
Fu G.	84
Gäbel K.	80
Gaessler W.	64
Gatej A.	54
Gatto A.	74, 140
Giel D.	82
Gläserer St.	48
Gnausch T.	80
Grajciar B.	94
Grass O.	36
Greiner B.	20
Grewe A.	98
Gröning A.	118
Große M.	96, 130
Großmann C.	38
Gruber M.	100
Gründer K.-P.	138
Günther A.	138
Hagemann M.	74
Haist T.	40, 96
Harendt B.	96, 130
Hartmann P.	42
Hartung A.	70, 144
Hasler M.	96
Haueisen J.	94
Hauptvogel M.	26, 118
Häusler G.	10, 12, 14, 122, 124, 130
Hausotte T.	38
Hechler St.	16
Heil J.	32
Hellmann Ch.	60
Heeren H.	144
Herffurth T.	118
Herkommer A.	22
Herzig H. P.	46
Heuck H.-M.	32

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

Heuer A.	82
Hillenbrand M.	34
Hillmer H.	18, 50
Hils B.	126
Hoffmann C.	58
Hoffmann M.	102
Höffinghoff J.-F.	110
Höfler H.	78, 82
Hofmann A.	54, 136
Hofmann M.	20
Hofmann W.	56
Hopp D.	50, 132
Hornung M.	60, 112
Huber F.	124
Hübner U.	26
Iff W.	34
Jäger G.	8, 38, 90
Jahns J.	106
Jetter M.	16
Jedamzik R.	112
Jöckel W.	12
Junginger S.	54
Juschtschenko W.	74
Just F.	72
Kamp M.	142
Kampmann R.	20, 80, 100
Kaufmann H. W.	150
Kanka M.	26
Kelly D.-P.	148
Kelm A.	136
Kemper B.	96, 114
Kessel A.	130
Kießling A.	94, 96
Kirschstein St.	42
Kleindienst R.	80, 100
Kley E.-B.	16, 144
Knöbber F.	102
Knuppertz H.	100
Kobelke J.	70, 106
Koch A.W.	116
Koeth J.	142
Kolb F.	42
Kowarschik R.	26, 94, 96, 130
Krackhardt U.	14
Krause O.	78
Krieg J.	132
Krobot R.	122

Name	Referat(e) auf Seite(n)
Krüger M.	102
Krüger U.	36
Kück H.	50
Kühmstedt P.	88
Kuhn H.	128
Kuhn M.	30, 60
Kurz M.	122
Kusserow Th.	18, 50
Langenbach E.	42
Lemke D.	64
Leopold St.	102
Li W.	10
Li Z.	128
Liebermann J.	94
Lindlein N.	34
Lindner E.	72
Link D.	44
Liu X.	100
Loosen P.	54, 78, 146
Lorenz A.	70
Lyda W.	40, 58, 110
Ma J.	84
Ma X.	102
Manske E.	38, 90
Marklein R.	18
Mastylo R.	90
Mathis H.	20
Matthä M.	52
Matrisch J.	146
Mauch F.	110
Mayer V.	50
McPherson A.	66
Meinecke Th.	148
Merchán F.	18
Michel B.	76
Michel P.	16
Mitschunas B.	8, 34
Morasch V.	76, 146
Motzek K.	112
Müller Ch.	20
Müller R.	144
Müller-Pfeiffer St.	52, 80
Munkelt Ch.	88
Munzert P.	132
Neumann D.	140
Nicolaus R.	120
Notni G.	38, 44, 88, 94, 132

Name	Referat(e) auf Seite(n)
Obata K.	28
Oeder A.	104
Ojeda-Castañeda J.	46
Olesch E.	12, 122
Osten W.	16, 28, 40, 50, 58, 84, 96, 110, 132
Overmeyer L.	108, 110
Ovsianikov A.	28
Palme M.	44, 132
Panzner M.	78
Pätz D.	102
Pedrini G.	84
Perske F.	38
Peterhänsel S.	28
Petter J.	120
Petruck P.	26
Pfeffer M.	118
Pfeifer M.	82
Pond J.	76
Predehl P.	66
Pruss Ch.	16, 50, 132
Pütsch O.	146
Reichel St.	128
Reitsamer H. A.	44
Richter J.	28
Riehemann St.	38, 44, 94, 132
Riesenberg R.	26
Rieske R.	108
Rossbach R.	16
Rossmeyer T.	112
Roth E.	58
Röttinger Ch.	122
Ruggaber B.	36
Runte Ch.	140
Ruprecht A.	92
Rutloh M.	16
Sabitov N.	148
Salazar F.	114
Sandfuchs O.	74, 140
Sandner M.	10
Schaal F.	16
Schäffer M.	130
Schiel B.	50
Schinköthe W.	92
Schlichthaber F.	96
Schmidt F.	36
Schmidt I.	88
Schmitt R.	84

Name	Referat(e) auf Seite(n)
Schmitzer H.	126, 142
Schneider F.	138
Schöller M.	64
Schramm St.	116
Schreiner R.	80
Schröter S.	70
Schulz A.	122
Schulz M.	12, 90, 120, 126
Schuster K.	70
Schweitzer H.	60
Schwider J.	24
Segel Ch.	72
Seifert B. U.	44, 116
Selva Ginani L.	132
Seybold J.	50
Sheridan J. T.	86
Sinzinger S.	8, 20, 34, 60, 74, 80, 90, 98, 102, 104, 134, 140, 148
Skoczowski D.	82
Slognsat E.	98
Sobotka A.	58
Spittel R.	70
Sprenger D.	10
Sprenger J.	112
Stavridis M.	12
Stegmann Ch.	68, 122
Steiner R.	74, 140
Steinke A.	98
Steinkopf R.	132
Sterns F.	50
Stinzing F.	122
Stoebenau S.	80, 98, 134
Strohm P.	78
Strohmaier C.	44
Stumpe J.	16
Stürwald St.	84
Stürzebecher L.	112
Sprenger D.	10
Tahedel M.	118
Tervo J.	30
Testorf M.	86
Theska R.	132
Thombansen U.	54
Thompson J.	142
Tierney D.	142
Timinger A.	54, 136
Tünnermann A.	38, 94, 118

Name	Referat(e) auf Seite(n)
Turunen J.	30
Uhlmann E.	122
Uske St.	102
Vahimaa P.	30
Vilser W.	44
Vogel M.	14, 130
Vogler U.	60, 112
Vogt Ch.	138
Völkel R.	60, 112
von Bally G.	96
von Finck A.	26
von Kopylow Ch.	10
Vorbringer-Dorozhovets N.	90
Warber M.	96
Weber R.	8
Webster A.	34
Weidenfeld S.	16
Weidenhof V.	24
Weigel A.	94
Weigel D.	94
Weißbrodt P.	144
Wernicke G.	146
Wesner J.	32
Wette S.	146
Wibbing D.	92
Wiegmann A.	90
Wiesner M.	16
Will M.	16, 20, 98
Willeke B.	62
Willomitzer F.	124
Winkelmann H.	100
Witzigmann B.	18
Woerdemann M.	48, 104
Wolter K.-J.	108
Wulf M.	18
Wurm M.	28
Wyrowski F.	30, 60
Yang Z.	14, 130
Yuan C.	84
Zamora R.	18
Zeitner U.	112
Zeller W.	142
Zepp A.	20
Ziener Ch.	144
Zoberbier R.	60, 112
Zwick S.	38

Freitag, 17.6.2011
Fraunhofer-Veranstaltung

18:30 Uhr Begrüßung
 Durch den Vorsitzenden der DGaO
 Prof. Dr. Michael M. Pfeffer

anschließend Fraunhofer-Vorlesung
 U. Leonhardt, University of St Andrews, Schottland
 ulf@st-andrews.ac.uk

Thema des Vortrags

„Geometrie, Licht und ein bisschen Zauberei“

Wer hätte nicht davon geträumt, sich einmal ganz schnell unsichtbar machen zu können? Man wirft sich den Unsichtbarkeitsmantel über oder setzt sich die Tarnkappe auf und schon ist man den Blicken des Chefs entronnen. Der Traum von Unsichtbarkeit ist Jahrtausende alt, aber erst seit 2006 ist er zu einem akzeptablen wissenschaftlichen Thema geworden. Es war schwer, die erste Arbeit auf diesem Gebiet zu veröffentlichen, aber mittlerweile ist eine substantielle wissenschaftliche Literatur entstanden, es gibt eine Reihe von Experimenten zu Unsichtbarkeitsgeräten verschiedener Art und darüber hinaus Ideen und Experimente zu anderen Phänomenen der "reinen und angewandten Magie", die mit Unsichtbarkeit eng verwandt sind. Ein Beispiel ist die perfekte optische Abbildung, mit der man im Prinzip unendlich scharf sehen kann. Andere Beispiele sind Levitation und künstliche schwarze Löcher. All das klingt nach Zauberei und etwas unglaublich, beruht aber letztlich auf Phänomenen, die aus dem Alltag verständlich sind und nur dank moderner Technologie auf die Spitze getrieben werden. Die Zeitschrift Science zählte das wissenschaftliche Gebiet, das dahinter steckt - Transformationsoptik, Metamaterialien und die Verbindung von Geometrie und Licht - zu den Top 10 der Wissenschaft der letzten 10 Jahre (als einziges Gebiet aus der Physik). Im Vortrag werde ich versuchen zu erklären, was Transformationsoptik ist und was wir an Interessantem damit gemacht haben.

anschließend Bankett
ca. 19:00 Uhr

Im Verlaufe des Abends Prämierung der besten Poster

Mitteilungen der Tagungsgeschäftsführung

1. Tagungsort

Die DGaO-Jahrestagung findet vom 14. Juni bis 18. Juni in Ilmenau statt. Das Tagungszentrum ist die Technische Universität Ilmenau, Humboldtbaue, Gustav-Kirchhoff-Platz 1. Das Tagungsbüro befindet sich im Foyer des Humboldtbaus.

Öffnungszeiten: Dienstag, 14. Juni von 16:00 Uhr bis 19:00 Uhr

 Mittwoch, 15. Juni bis Freitag, 17. Juni
 von 8:00 Uhr bis Ende der Veranstaltungen

 Samstag, 18. Juni von 8:30 Uhr bis Ende der Veranstaltungen

Die zur Verfügung stehenden kostenlosen Parkmöglichkeiten auf dem Campus der TU Ilmenau können Sie dem Stadtplan entnehmen.

Bitte folgen Sie der Beschilderung auf dem Campus bzw. nutzen Sie das Parkleitsystem der Stadt Ilmenau.

2. Tagungsanmeldung

Wir bitten Sie, die Tagungsanmeldung einschließlich der Überweisung der Tagungsgebühren bis zum 13. Mai 2011 über das Online-Formular auf der Internetseite www.dgao.de Jahrestagung 2011 oder mit beiliegendem Anmeldeformular per Post/Fax vorzunehmen.

Bei Zahlung bis zum 13. Mai 2011 beträgt die Tagungsgebühr

Mitglieder der DGaO, DPG, EOS	200,- €
Nichtmitglieder	250,- €
Studenten, Rentner, Erwerbslose	80,- €

Bei Zahlung nach dem 13. Mai 2011 wird ein Zuschlag in Höhe von 30,-€ erhoben. Tageskarten werden nicht ausgegeben. Begleitpersonen zahlen keinen Tagungsbeitrag.

Autoren, die studentische Mitglieder der DGaO sind, können bei Bestätigung des Institutsleiters gefördert werden. Der Förderbetrag wird durch den Vorstand festgelegt.

Überweisung des Tagungsbeitrages/Beitrages für das Rahmenprogramm an:

Sparkasse Burbach-Neukirchen

Kontonummer: 200 6401
Bankleitzahl: 460 512 40
Kennwort: DGaO 2011

für Überweisungen aus dem Ausland:

IBAN: DE 41 46051240 000 2006401
BIC: WELADED1BUB

3. Hotelreservierung

Für die Hotels in unmittelbarer Umgebung des Tagungszentrums haben wir ein Kontingent an Übernachtungen reservieren lassen, die Sie selbst direkt buchen können. Es wird empfohlen frühzeitig zu buchen, da Ilmenau im Zeitraum um Pfingsten gerne für einen Kurzurlaub genutzt wird.

Das Fremdenverkehrsamt der Stadt Ilmenau ist Ihnen bei der Wahl und Vermittlung weiterer Übernachtungsmöglichkeiten gern behilflich. Bitte richten Sie Ihre Anfragen direkt an: stadtinfo@ilmenau.de oder telefonisch: +49 3677/ 600 300 bzw. +49 3677/ 19433.

Bitte buchen Sie Ihre Übernachtungen rechtzeitig unter folgendem Stichwort: DGaO

Die Angebote der Hotels:

Romantik Berg- und Jagdhotel Gabelbach

Waldstraße 23a	Tel.: +49 3677/ 8600	75,00 € / Einzelzimmer inkl. Frühstück
98693 Ilmenau	info@gabelbach.com	115,00 € / Doppelzimmer inkl. Frühstück

Buchung bis 13.05.2011

Hotel Tanne

Lindenstraße 38	Tel.: +49 3677/ 6590	62,00 € / Einzelzimmer inkl. Frühstück
98693 Ilmenau	info@hotel-tanne-thueringen.de	84,00 € / Doppelzimmer inkl. Frühstück

Buchung bis 02.05.2011

Hotel Lindenhof

Lindenstraße 3 – 11	Tel.: +49 3677/ 68000	68,00 € / Einzelzimmer inkl. Frühstück
98693 Ilmenau	hotel-lindenhof@t-online.de	90,00 € / Doppelzimmer inkl. Frühstück

Buchung bis 13.05.2011

Hotel Moosbach

Schmückerstraße 112	Tel.: +49 3677/ 849880	61,00 € / Einzelzimmer inkl. Frühstück
98693 Ilmenau	hotel-moosbach@t-online.de	83,00 € / Doppelzimmer inkl. Frühstück

OT Manebach

Buchung bis 13.05.2011

1. Hinweise

Für Vorträge steht in jedem Raum ein Beamer mit Laptop zur Verfügung. Die Präsentationen sind per CD/USB-Stick rechtzeitig in den Pausen zu überspielen. Soll der eigene Laptop eingesetzt werden, so sollte unbedingt in Absprache mit dem zuständigen Personal vorher ein Funktionstest durchgeführt werden.

2. Posterausstellung

Die Posterausstellung findet im Foyer des Humboldtbaus statt. Es stehen Posterflächen (Höhe 100 cm, Breite 70 cm) zur Verfügung.

3. Firmenpräsentation

Im Rahmen des Sponsorships präsentieren sich in einer Ausstellung verschiedene Firmen. Die Ausstellung findet im Foyer des Humboldtbaus statt.

4. DGaO Proceedings –www.dgao-proceedings.de

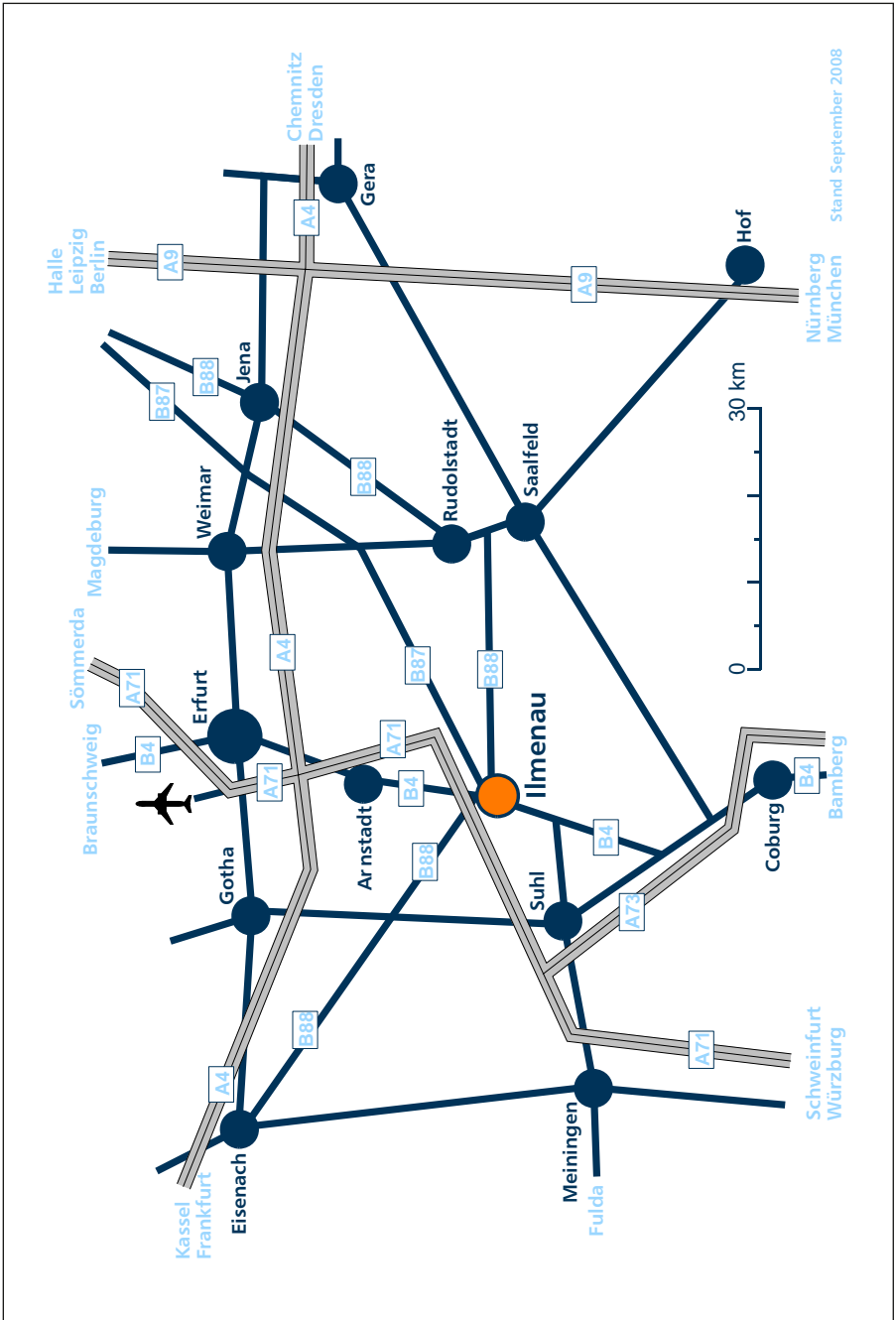
Die Autoren haben seit dem Jahr 2004 die Gelegenheit, ihre Tagungsbeiträge in der DGaO-Internetzeitschrift *DGaO-Proceedings* zu veröffentlichen. Die Beiträge werden als zweiseitige, löpelspaltige Manuskripte oder auch ab 2008 erstmalig als Poster veröffentlicht. Beiträge in den *DGaO-Proceedings* sind zitierfähig. Im Jahr 2010 wurde ca. 9000 mal auf die Internetseiten der DGaO-Proceedings zugegriffen, eine Steigerung von 20% verglichen mit dem Jahr zuvor (7500 Zugriffe).

Eine Anleitung für die Erstellung der zweiseitigen Beiträge und für die Einstellung der Poster gibt es unter http://www.dgao-proceedings.de/hinweise_d.php

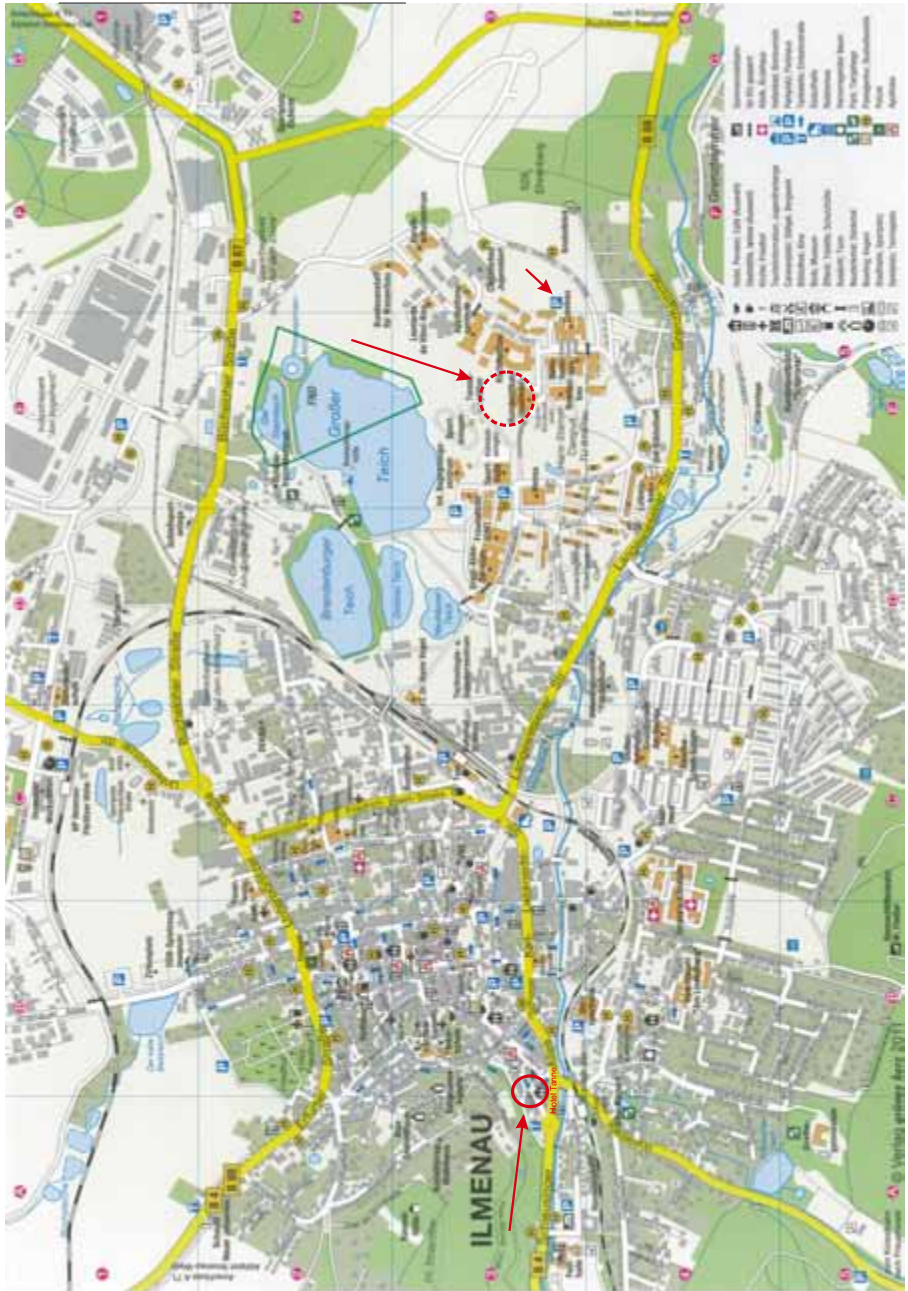
Tagungsgeschäftsführung

Prof. Dr. Stefan Sinzinger
FU Ilmenau, IMN MacroNano®
Fachgebiet Technische Optik
Postfach 10 05 65
38684 Ilmenau
Tel. +49 (0) 3677 69-2491
Fax +49 (0) 3677 69-1281
E-Mail: stefan.sinzinger@tu-ilmenau.de

Anreise zum Tagungsort



Stadtplan Ilmenau



Rahmenprogramm

1. Begrüßungsabend, Dienstag den 14. Juni

Ab 18:00 Uhr können sich die bereits angereisten Teilnehmer auf dem Campus der TU Ilmenau, im Foyer des Humboldtbaus einfinden.

Im Anschluss durch die Begrüßung des Tagungsgeschäftsführers Prof. Dr. S. Sinzinger wird Prof. Dr. M. Köhler einen Vortrag über „Thüringer Burgenlandschaften“ halten.

2. Ausflug Donnerstag, den 16. Juni

Am Donnerstag erwartet Sie ein abwechslungsreicher Nachmittag.

Die Exkursion startet um 13:00 Uhr vor der Mensa und teilt sich in zwei Gruppen.

Busse 1 und 2: Fahrt nach Eisenach.

Besuch der Wartburg (Weltkulturerbe) inkl. Führung - Dauer bis ca. 16.00 Uhr.

Danach Weiterfahrt nach Ruhla. Besuch der Ausstellung "Miniathür".

Anschließend Rückfahrt nach Arnstadt zum gemeinsamen Abendessen.

Busse 3 und 4: Fahrt nach Ruhla.

Besuch der Ausstellung "Miniathür" mit anschließender Weiterfahrt nach Eisenach und Führung auf der Wartburg. Gegen 18.00 Uhr Rückfahrt nach Arnstadt zum gemeinsamen Abendessen.

Um 19.30 Uhr findet das gemeinsame Abendessen im Hotelpark der Stadtbrauerei Arnstadt statt.

Rückfahrt der Busse nach Ilmenau: 22.30 Uhr

3. Mitteilungen für die Begleitpersonen

Ilmenau und Umgebung hat viele Attraktivitäten, wie das GoetheStadtMuseum, der Wanderweg von Bach zu Goethe und vieles mehr zu bieten.

Wenden Sie sich bitte an das Tagungspersonal, das Ihnen gerne behilflich ist.

Zusätzliche Informationen erhalten Sie unter www.ilmenau.de

Ordentliche Mitgliederversammlung der DGaO

am Freitag, den 17. Juni 2011, 16:00 Uhr,
TU Ilmenau, Humboldtbaus, Humboldt Hörsaal (Saal B)

Tagesordnung:

1. Eröffnung
2. Bericht des Vorsitzenden
3. Satzungsänderung zum Datenschutz
4. Neuaufnahmen (Liste wird zur Mitgliederversammlung ausgelegt)
5. Kassenbericht des Schatzmeisters
6. Bericht der Kassenprüfer und Beschluss über Entlastung
7. Wahl von zwei Beisitzern
8. Jahrestagungen der DGaO 2012 und 2013
9. Berichte über EOS, ICO, DPG
10. Berichte der Arbeitskreise
11. Verschiedenes

Bitte beachten!

Anträge zur Tagesordnung müssen mindesten 4 Wochen vor der Mitgliederversammlung beim Schriftführer eingereicht werden:

Prof. Hartmut Bartelt
IPHT
Albert-Einstein-Str. 9
07745 Jena
Fax: 03641-206299
Mail: hartmut.bartelt@ipht-jena.de

Termin: 20. Mai 2011

Korporative Mitglieder der DGaO



We make it visible.

