

FAKULTÄTSBERICHT 2016-2017

1.1.2016 - 31.12.2017



FRIEDRICH-SCHILLER-
UNIVERSITÄT
JENA

Impressum

Herausgeber:	Dekan der Physikalisch-Astronomischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena Max-Wien-Platz 1, 07743 Jena Tel.: 03641 9 47000 / Fax: 03641 9 47002 E-Mail: dekanat-paf@uni-jena.de
Redaktion, Layout und Satz:	Dr. Angela Unkroth
Mitarbeit:	Dr. Agnes Sambale
Druck:	Druckzentrum der FSU Jena
Redaktionsschluss:	13. März 2018
Auflage:	100 Stück
Titelfotos:	Jan-Peter Kasper/Fotozentrum der Friedrich-Schiller-Universität Jena (oben und links unten),

Für den Inhalt der Seiten über die einzelnen Arbeitsgruppen (S. 20-111) sind die jeweiligen Lehrstuhlinhaber und Professoren zuständig. Im vorliegenden Bericht wird zur besseren Lesbarkeit teilweise nur die männliche Sprachform verwendet. Die weibliche Form ist selbstverständlich immer mit eingeschlossen. Wir danken Frau Claudia Hilbert von der Chemisch-Geowissenschaftlichen Fakultät für ihre Unterstützung beim Layout.

INHALT

Vorwort	2
Die Fakultät im Überblick	4
Forschung	6
Forschungsprofil	6
Drittmittel	7
Beteiligung an Forschungsförderprogrammen	8
Wissenschaftlicher Nachwuchs	11
Publikationen	13
Tagungen	18
Forschungsberichte der Institute	20
Astrophysikalisches Institut und Universitätssternwarte	20
Institut für Angewandte Optik	26
Institut für Angewandte Physik	30
Institut für Festkörperphysik	48
Institut für Festkörpertheorie und –optik	56
Institut für Optik und Quantenelektronik	62
Otto-Schott-Institut für Materialforschung	78
Theoretisch-Physikalisches Institut	90
Arbeitsgruppe Fachdidaktik der Physik und Astronomie	104
Gemeinsame Berufungen mit außeruniversitären Institutionen	108
Abbe Center of Photonics	112
Wissenschaftliche Werkstätten/Werkstattverbund	114
Studium und Lehre	116
Studienangebot	116
Studierendenwerbung und Outreach	118
Studieneingangsphase	120
Entwicklung der Studierendenzahlen	122
Abbe School of Photonics	124
Der Fachschaftsrat der Physikalisch-Astronomischen Fakultät	126
Der Alumni der Physikalisch-Astronomischen Fakultät e.V.	128
Wirtschaft und Kooperationen	130
Die Fakultät und ihre Partner	130
Forschungsmarketing und Forschungstransfer	134
Internationales	137
Gastwissenschaftler	137
Gastaufenthalte im Ausland	142
Internationale Studierende und Promovierende	143
Gleichstellung	144
Personalia	146
Berufungen und Pensionierungen	146
Personalstruktur	147
Preise und Ehrungen	148
Mitgliedschaften und Funktionen	152
Professoren von A-Z	156
Abkürzungen	160

VORWORT

Die Physikalisch-Astronomische Fakultät (PAF) ist eine von zehn Fakultäten der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Sie zählt etwa 620 Studierende und 300 Promovierende. Von den 31 Universitätsprofessoren forschen 9 an außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Die acht Institute der PAF sind in vier Schwerpunkten zusammengefasst. Im Schwerpunkt **Astrophysik** wird über Trümmerscheiben, extra-solare Planeten und Neutronensterne geforscht. Im Schwerpunkt **Quanten- und Gravitationstheorie** stehen stark korrelierte Quantensysteme, kritische Phänomene, die Quantenelektrodynamik, Dualitäten zwischen Quanten- und Gravitationstheorien, kompakte Objekte, Gravitationswellen und weitere Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen im Vordergrund. Im dritten Schwerpunkt **Festkörperphysik und Materialwissenschaften** werden Dünnschichten, Ionenstrahlen, Nano-, bio-, magnetische und supraleitende Materialien, organische Kristalle, Polymere, keramische Nanopartikel untersucht und elektronische Anregungen mit ab initio Methoden entwickelt und eingesetzt. Im vierten und größten Schwerpunkt **Optik und Laserphysik** wird über Laserquellen, Faserdesign, Nanooptik, Strukturierung, Spektroskopie, Mikroskopie, nichtlineare Optik, XUV-Interferometrie und Bildgebung, Laser-Materie-Wechselwirkung, Teilchenbeschleunigung, Attosekunden-Laserphysik, Atomphysik hochgeladener Ionen sowie medizinische Anwendungen geforscht. Die einzelnen Projekte nehmen einen breiten Raum im vorliegenden Bericht ein.

Die Forschungsthemen reichen von Problemen der reinen Grundlagenphysik, der mathematischen und numerischen Modellierung bis hin zu Problemen der angewandten und industrienahen Forschung. Die PAF ist mit mehr als 15 Mio. € Drittmittel die drittmittelstärkste Fakultät unserer Universität. Diese Erfolge sind auch der engen Vernetzung mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen zu verdanken: dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, dem Leibniz-Institut für Photonische Technologien, dem Helmholtz-Institut Jena und der Thüringer Landessternwarte Tautenburg. Mit anderen Fakultäten, der lokalen Industrie und unzähligen nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen existieren Kooperationen, die zu neuen Erkenntnissen in der Grundlagenphysik und zahlreichen Anwendungen führen. Eine beträchtliche Anzahl großer Projekte wurden in den letzten Jahren weitergeführt oder begonnen. Dazu gehören Beteiligungen an DFG-Sonderforschungsbereichen, Forschergruppen und

Schwerpunktprogrammen oder die BMBF-Verbundforschung. Mit der bewilligten Max-Planck-School of Photonics entsteht ein neues Exzellenznetzwerk zur Förderung von Nachwuchsforschern. Mitglieder der PAF sind auch an mehreren EU-Programmen beteiligt. Vom Land Thüringen werden Projekte vorwiegend am Institut für Angewandte Physik und am Institut für Optik und Quantenelektronik gefördert. Kürzlich wurde das Innovationszentrum für Quantenoptik und Sensorik initiiert.

Mitglieder unserer Fakultät werden regelmäßig für ihre Leistungen ausgezeichnet. So erhielt der Physik- und Astronomiedidaktiker Karl-Heinz Lotze eine Seniorprofessur der Wilhelm und Else Heraeus Stiftung, Stefan Nolte wurde zum Fellow der Optical Society of Amerika berufen und der gerade erst neu berufene Gravitationstheoretiker Sebastiano Bernuzzi wurde 2017 mit einem ERC Starting Grant ausgezeichnet.

Einen ERC-Grant inne haben bereits die Kollegen Tünnermann und Limpert. Adriana Szeghalmi und Isabelle Staude traten ihre Stellen als Leiterinnen von Emmy-Noether Nachwuchsgruppen an.

Wichtig für die Profilbildung der PAF ist deren tragende Rolle im Abbe Center of Photonics (ACP) mit seinen Forschungsschwerpunkten Ultraoptik, Starkfeldphysik und Biophotonik. Drei Mitglieder des Direktoriums sind Optik-Professoren an unserer Fakultät. Auch am neu entstehenden Michael Stifel Center Jena ist die PAF mit zwei Theoretikern als Direktoren des Schwerpunkts „Simulationswissenschaften“ beteiligt.

Das Lehrangebot der Fakultät spiegelt deren vier Schwerpunkte wieder. Es werden Veranstaltungen zur modernen Astrophysik, zur Gravitations- und Quantentheorie, zur Optik, Photonik und Laserphysik und zur Festkörperphysik in großer Breite angeboten. Die Tradition der Ingenieurausbildung wird im eigenständigen Studiengang "Werkstoffwissenschaft" fortgesetzt. Neben den Bachelor- und Masterstudiengängen Physik und Werkstoffwissenschaften existieren die Studiengänge Lehramt für Physik an Gymnasien und Regelschulen, mit Astronomie als mögliche Ergänzungsrichtung. Zusätzlich bietet die Abbe School of Photonics einen internationalen Master of Science in Photonics an, der bei zahlreichen ausländischen Studenten auf Interesse stößt.

Wichtig für zukünftige Erfolge der PAF wird sein, die Anzahl der Studienanfänger zu steigern. Diese nahm in den letzten drei Jahren

zwar stetig zu, aber weitere Anstrengungen sind nötig, um diesen Trend zu verstetigen. Da könnte es helfen, dass wir im letzten CHE-Ranking 12 von 18 und damit bundesweit die höchste Zahl an möglichen Spitzenplätzen belegten – insbesondere, wenn wir beim kommenden Ranking ähnlich gut abschneiden. Aufgrund der niedrigen Anfängerzahl vor 4 Jahren haben wir nun zu wenige Master-Studierende. Um diesem Problem entgegenzuwirken, wurde das Lehrangebot der vier Schwerpunkte strukturiert und der Studiengang Master Physik internationalisiert. Zudem wird jährlich ein Workshop “Perlen der Theoretischen Physik” für Bachelor Studierende organisiert. Um unseren Lehramtskandidaten gerecht zu werden, ist eine erfolgreiche Nachbesetzung der Didaktik-Professur, die gerade im Gange ist, von größter Bedeutung. Der Studiengang Master Photonics entwickelt sich hingegen sehr gut: es sind etwa 140 internationale Studierende eingeschrieben.

Ein Teil unserer etwa 300 Promovierenden sind in strukturierten Programmen eingebettet: dem DFG Graduiertenkolleg “Quanten- und Gravitationsfelder”, der Research School “Advanced Photon Science” des Helmholtz-Instituts Jena und dem Internationalen DFG Graduiertenkolleg “Geführtes Licht, dicht gepackt: neue Konzepte, Komponenten und Anwendungen”.

Mit der Fertigstellung des sehenswerten ACP Gebäudes am Beutenberg und dessen Einweihung im Juli 2016 sowie der Zusammenführung der Theoretiker im historischen Abbeanum hat sich die räumliche Situation an der Fakultät etwas entspannt. Mit der momentanen Stärkung der Mikroskopie mit Anwendungen in der Medizin, der geplanten Einrichtung von weiteren Optik-Professuren im kurzweiligen Bereich bzw. der Quantenoptik und der Besetzung einer Juniorprofessur „Optik zweidimensionaler Festkörper“ im Rahmen des Tenure-Track-Professoren Programms, werden wohl weitere Baumaßnahmen erforderlich sein. Auf gutem Weg ist die Verzahnung der Fakultät mit dem neu gegründeten Deutschen Optischen Museum. Der zukünftige Direktor des Museums wird auch Professor unserer Fakultät sein.

Gerade mit Hinblick auf die Anwerbung von Studierenden sind unsere öffentlichen Veranstaltungen von großer Bedeutung. Dazu gehören Kinderuni, Schülerlabor und Schülervorlesungen, jährliche Workshops für Schülerinnen, Abbe-Kolloquien im Planetarium, Samstagsvorlesungen, der jährlich an der PAF stattfindende Tag der Physik, die Lange Nacht der Wissenschaft-



Foto: privat

ten, die Highlights der Physik mit etwa 50.000 Besuchern oder das von Gerhard Paulus initiierte MINT-Festival im September 2018.

Die PAF ist also auf einem guten Weg, um dem Erbe von herausragenden Wissenschaftlern wie Ernst Abbe, Max Wien, Friedrich Hund oder Max Steenbeck gerecht zu werden - mit Forschung auf internationalem Spitzenniveau und einer breiten und forschungsorientierten Lehre, von den Grundlagen bis hin zu aktuellen Anwendungen, die optimal auf den Arbeitsmarkt vorbereiten.

Dieser Bericht richtet sich an die Mitglieder des 2006 eingesetzten Fakultätsbeirates, denen wir einen Überblick über die PAF geben möchten. Aber auch an Kolleginnen und Kollegen innerhalb der Universität und an Partner in Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Wir möchten uns für die gute Zusammenarbeit bedanken und als kleines Dankeschön mit diesem Bericht über unsere Aktivitäten in Lehre und Forschung informieren. Der Bericht wendet sich auch an ehemalige, aktuelle und zukünftige Studierende. Allen Mitgliedern der PAF danke ich an dieser Stelle für ihr stetiges und erfolgreiches Engagement in Lehre und Forschung. Ich wünsche Ihnen nun eine spannende Lektüre.

Andreas Wipf, Dekan

DIE FAKULTÄT IM ÜBERBLICK

Dekanat

Dekan: Prof. Dr. Andreas Wipf
Prodekan: Prof. Dr. Stefan Nolte
Studiendekan: Prof. Dr. Frank Schmid

Astrophysikalisches Institut und Universitätssternwarte (AIU)

Direktor: Prof. Dr. Ralph Neuhäuser

Institut für Angewandte Optik (IAO)

Kommissarischer Direktor:
Prof. Dr. Andreas Tünnermann

Institut für Angewandte Physik (IAP)

Direktor: Prof. Dr. Andreas Tünnermann

Institut für Festkörperphysik (IFK)

Direktor: Prof. Dr. Carsten Ronning

Institut für Festkörpertheorie und -optik (IFTO)

Direktor: Prof. Dr. Ulf Peschel

Institut für Optik und Quantenelektronik (IOQ)

Direktor: Prof. Dr. Malte Kaluza

Otto-Schott-Institut für Materialforschung (OSIM)

Interfakultäres Institut mit CGF
Direktoren PAF:
Prof. Dr. Markus Rettenmayr,
Prof. Dr. Frank Müller

Theoretisch-Physikalisches Institut (TPI)

Direktor: Prof. Dr. Bernd Brüggemann

AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie (PAD)

Kommissarischer Direktor:
Dr. Ronny Nawrodt

Graduiertenkolleg Quanten- und Gravitationsfelder

Sprecher: Prof. Dr. Andreas Wipf

Abbe Center of Photonics (ACP)

Sprecher: Prof. Dr. Christian Spielmann

Abbe School of Photonics (ASP)

Sprecher: Prof. Dr. Thomas Pertsch

Wissenschaftliche Werkstätten/Werkstattverbund

Technischer Leiter: Andreas Winnefeld

Elektronik

Elektrotechnik

Feinwerktechnik 1

Feinwerktechnik 2 mit Lehrwerkstatt Industriemechaniker

Servicepunkt Mechanik (Chemisch-Geowissenschaftliche Fakultät)

Schlosserei/Schweißerei

Konstruktion



Legende

1 Max-Wien-Platz 1

- Dekanat
- Büro für Studentische Angelegenheiten
- Institut für Optik und Quantenelektronik

2 Helmholtzweg 5

- Institut für Festkörperphysik

3 Helmholtzweg 3

- Institut für Festkörperphysik

4 Fröbelstieg 1 (Abbeanum)

- Institut für Angewandte Optik
- Institut für Festkörpertheorie und -optik
- Theoretisch-Physikalisches Institut

5 Helmholtzweg 4

- PC-Pool
- Abbe School of Photonics
- Arbeitsgruppen des TPI und IFTO

6 Fröbelstieg 3

- IOQ/ POLARIS - Labs
- Helmholtz-Institut Jena

7 August-Bebel-Str. 4

- AG Physik- und Astronomiedidaktik
- Schülerlabor

8 Zentrum für Angewandte Forschung (ZAF)

- Institut für Festkörperphysik

FORSCHUNG

Forschungsprofil

Die Schwerpunkte der Forschung an der Physikalisch-Astronomischen Fakultät liegen auf den Gebieten

- **Optik**
- **Festkörperphysik/Materialwissenschaft**
- **Gravitations- und Quantentheorie**
- **Astrophysik**

Wir stellen dies gern als Haus mit vier Säulen dar (siehe Abb.). Zwischen den Mitarbeitern, die auf diesen Schwerpunkten arbeiten, gibt es vielfältige Kooperationen und gemeinsame Projekte. Die Physik/Astronomie-Didaktik und das sich in den letzten Jahren stark entwickelnde Gebiet der Computational Physics wirken dabei als übergreifende und gleichsam verbindende Arbeitsgebiete.

Eine außerordentlich enge Vernetzung der Fakultät besteht mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen wie dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, dem Leibniz-Institut für Photonische Technologien, dem Helmholtz-Institut Jena

und der Thüringer Landessternwarte Tautenburg, was durch gemeinsam berufene Professoren (siehe S. 108) und eine Vielzahl gemeinsamer Forschungsprojekte dokumentiert wird. Mit der lokalen Industrie und verschiedenen Fakultäten der Universität gibt es eine aktive Kooperation, die Anwendungsnähe und Interdisziplinarität sichert.

Eine immer wichtigere Rolle spielen die überregionalen Verbund- und Schwerpunktvorhaben, z.B. im Rahmen von Sonderforschungsbereichen und Forschergruppen, Spitzencluster CoOptics, ZIK ultra optics sowie die internationale Kooperation z.B. in Form von EU-Projekten. (S. 10) Insgesamt wurden in den Jahren 2016 und 2017 ca. 32 Mio. Euro Drittmittel eingeworben. Die PAF nimmt damit den Spitzenplatz innerhalb der FSU ein.

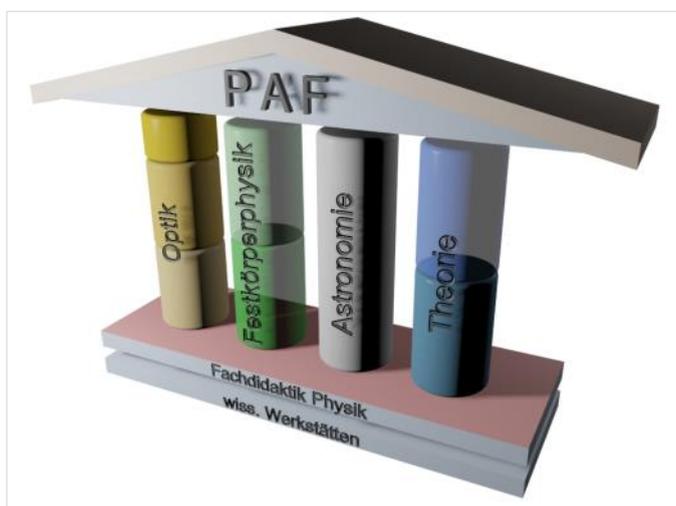
Einbindung in die Profillinien der Universität

Der überwiegende Teil der Forschung an der Physikalisch-Astronomischen Fakultät ist in die ersten beiden der drei Profillinien der FSU Light-Life-Liberty eingebunden und gestaltet diese intensiv mit.

Die Profillinie 1 „Light“ wird in starkem Maße von der PAF getragen, die mit Prof. Gerhard G. Paulus auch den Sprecher stellt. Außer den Optik-Instituten (IAO, IAP, IOQ, IFTO) tragen auch die anderen Institute zu dieser Profillinie bei. Zu nennen sind beispielsweise das IFK mit der DFG Forschergruppe „Dynamics and Interactions of Semiconductor Nanowires for Optoelectronics“, und das TPI mit der „Research School Advanced Photon Science“.

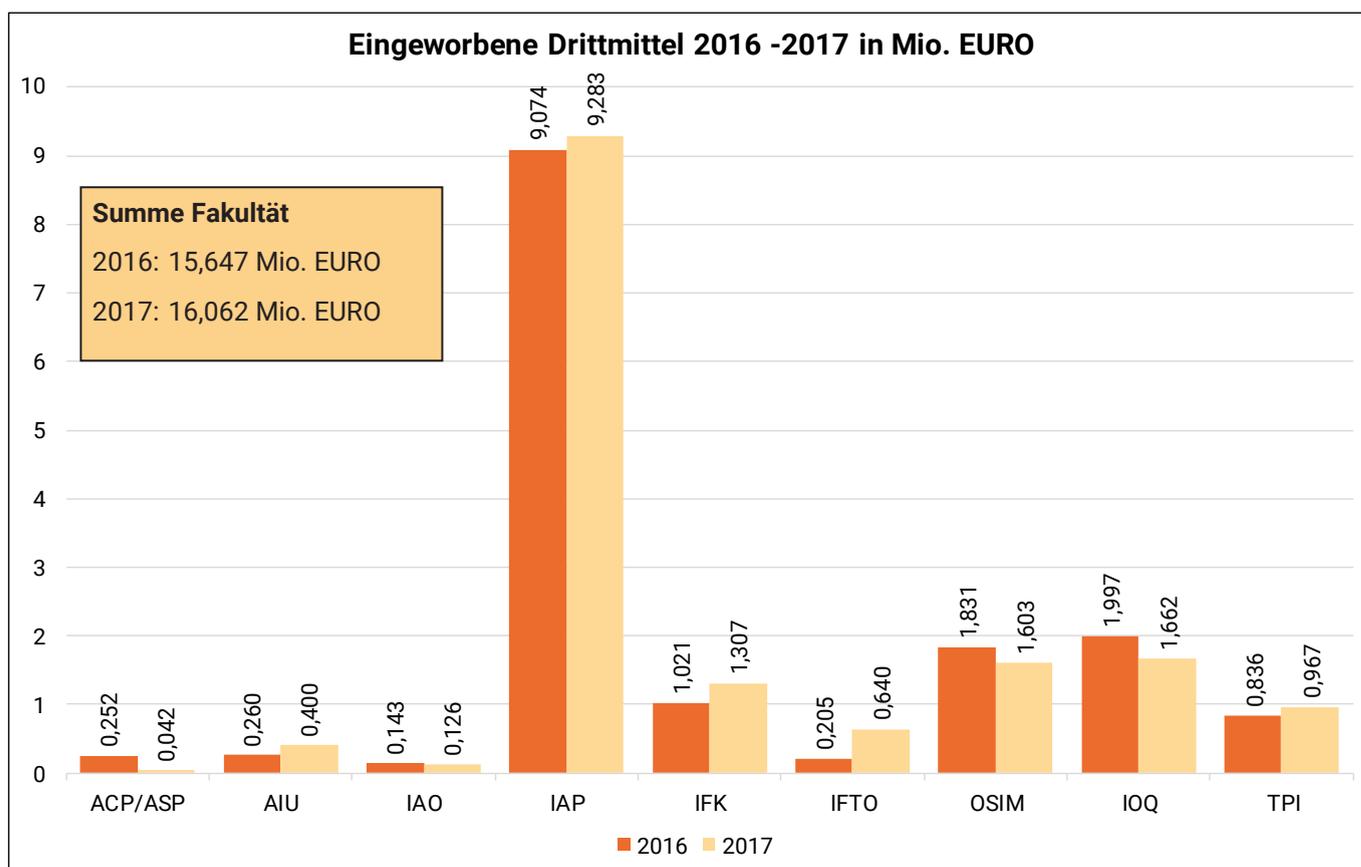
In der Profillinie 2 „Life“ ist die PAF z.B. mit dem Verbundprojekt „onCOOPTics–Hochintensitätslaser für die Radioonkologie“ oder der Forschung an Implantatmaterialien für die Medizin involviert.

Innerhalb der Universität wurde die Vernetzung der PAF durch die Einrichtung zweier interfakultärer Zentren institutionalisiert, dem Abbe Center of Photonics (ACP) und dem Zentrum für Medizinische Optik und Photonik (CeMOP). (siehe S. 112)

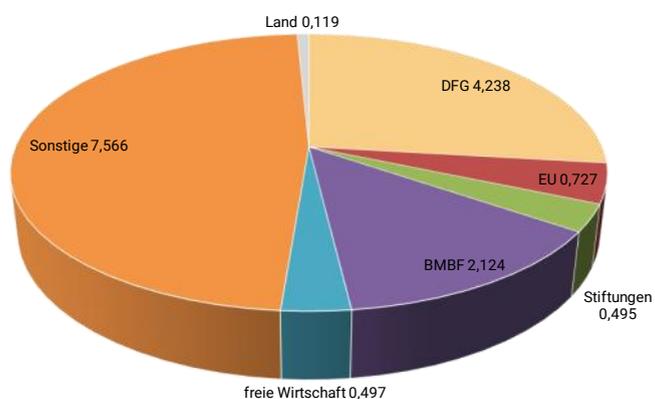


Das Forschungs- und Lehrprofil der Physikalisch-Astronomischen Fakultät ruht auf den vier Säulen Optik, Festkörperphysik/Materialwissenschaft, Astrophysik und Theoretischer Physik. Die Fachdidaktik und die wissenschaftlichen Werkstätten wirken übergreifend und unterstützend.

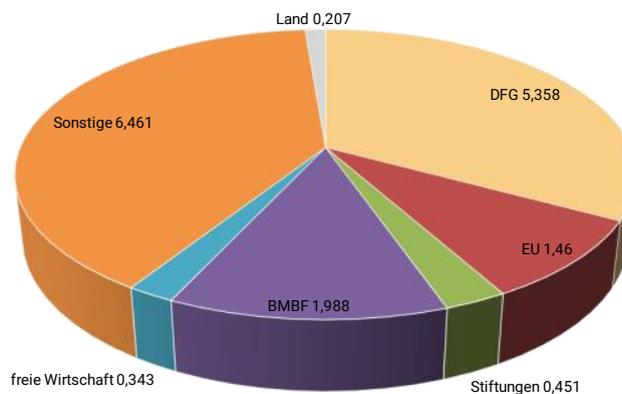
Drittmittel



Eingeworbene Drittmittel 2016 in Mio. EURO



Eingeworbene Drittmittel 2017 in Mio. EURO



Beteiligung an Forschungsförderprogrammen

Die Institute der Physikalisch-Astronomischen Fakultät (PAF) sind an zahlreichen Forschungsförderprogrammen beteiligt. Im Folgenden wird eine Übersicht über die wesentlichen koordinierten Forschungsprojekte gegeben, die in den Jahren 2016 und 2017 an der PAF gearbeitet haben und zum Teil auch von der PAF koordiniert wurden.

DFG–Sonderforschungsbereich

SFB/Transregio 18–Relativistische Laser-Plasma-Dynamik (TRR 18/4–2013)

2013– 06/2016

Beteiligte Institute: IOQ, TPI mit 5 Teilprojekten

SFB 1278–Polymerbasierte Nanopartikel-Bibliotheken für die Entwicklung zielgerichteter anti-inflammatorischer Strategien

Seit 2017

Beteiligte Institute: OSIM

DFG– Forschergruppen

FOR 2285

Trümmerscheiben in Planetensystemen

beteiligte Institute: AIU, IFK, IAP

Sprecher: Prof. Dr. Alexander Krivov

FOR1616– Dynamics and Interactions of Semiconductor Nanowires for Optoelectronics

beteiligte Institute: IFK & IFTO

Sprecher Prof. Dr. Carsten Ronning

DFG– Schwerpunktprogramme

SPP 1391

Ultrafast Nanooptics

beteiligte Institute: IAP

SPP 1458

High Temperature Superconductivity in Iron Pnictides

beteiligte Institute: IFK

SPP 1573

Physics of the Interstellar Medium

beteiligte Institute: AIU

SPP 1839

Tailored Disorder–A science- and engineering-based approach to materials design for advanced photonic applications

beteiligte Institute: IAP

SPP 1840

Quantum Dynamics in Tailored Intense Fields (QUTIF)

beteiligte Institute: IOQ, TPI

SPP 1959

Manipulation of matter controlled by electric and magnetic fields: Towards novel synthesis and processing routes of inorganic materials

beteiligte Institute: OSIM

SPP 1992

Exploring the Diversity of Extrasolar Planets

beteiligte Institute: AIU

BMBF - Verbund-Zentrum für Innovationskompetenz (Meta-ZIK)

astrOOptics

beteiligte Institute: IAP

Sprecher: Prof. Dr. Andreas Tünnermann

onCOOptics–Hochintensitätslaser für die

Radioonkologie

beteiligte Institute: IOQ, IAP

Sprecher: Prof. Dr. Andreas Tünnermann

HITECOM– High Temperature Conversion Optical Measurement

beteiligte Institute: IAP

Sprecher: Prof. Dr. Andreas Tünnermann

BMBF - Zentrum für Innovationskompetenz (ZIK)

ultra optics

beteiligte Institute: IAP, IOQ

Sprecher: Prof. Dr. Andreas Tünnermann

BMBF - Innovative Regionale Wachstumskerne

fo⁺ - Freeform Optics Plus Jena (2014-2016)

beteiligte Institute: IAP

PADES: Partikeldesign Thüringen (2014– 2017)

beteiligte Institute: OSIM

BMBF - Programm Zwanzig₂₀ - Partnerschaft für Innovation

Allianz 3Dsensation

beteiligte Institute: IAP

Sprecher: Prof. Dr. Andreas Tünnermann

BMBF-Verbundforschung

APPA R & D: Licht-Materie-Wechselwirkung mit hochgeladenen Ionen (FAIR-APPA)

beteiligte Institute: IAP, IOQ, TPI, HIJ

Sprecher: Prof. Dr. Gerhard G. Paulus

APPA R & D: Spektroskopie von Plasmen

beteiligte Institute: IOQ

PolarX: Präzisions-Röntgen-Spektroskopie und -Polarimetrie

beteiligte Institute: IOQ, HIJ

Entwicklung einer bildgebenden Diagnostik mit höchster räumlicher und zeitlicher Auflösung im mittleren Infrarot-Spektralbereich für Experimente zur Elektronenbeschleunigung bei extrem niedriger Plasmadichte an FLASHForward an DESY

beteiligte Institute: IOQ

Bioinspirierte molekulare Selbst-Assemblierung von Donor-Akzeptor-Netzwerken organischer Solarzellen“ (InspirA)

BMBF-Verbundprojektinitiative "KMU-NetC

beteiligte Institute: IFK

R & D Beschleuniger: Entwicklung, Sensoroptimierungen und Tests von kryogenen Stromkomparatoren zum Einsatz an neuartigen Ionenquellen, Beschleunigeranlagen und Speicherringen

beteiligte Institute: IFK, IOQ, HIJ, IPHT

Landesprogramm ProExzellenz II

ACP 2020—Agenda für exzellente Photonik

beteiligte Institute: IAP, ACP, IOQ, TPI, IFTO, IFK

Sprecher: Sprecherrat des ACP

- **Nachwuchsgruppe: Functional Photonic Nanostructures**
Jun.-Prof. Dr. Isabelle Staude (IAP)
- **10 ACP Explore Projekte des Abbe Centers of Photonics**

Thüringer Innovationszentren (RIS 3)

Thüringer Innovationszentrum für Quantenoptik und Sensorik (InQuoSens)

beteiligte Institute: IAP, ACP

Sprecher: Prof. Dr. Andreas Tünnermann

Landesprogramm Forschergruppen

TAB– FGR: Mikrostrukturtechnologie zur Überwindung von Leistungsgrenzen faserbasierter Lasersysteme

beteiligte Institute: IAP

Sprecher: Prof. Dr. Jens Limpert

TAB– FGR: 3D-Bildaufnahme und -verarbeitung mit höchstem kontinuierlichem Datendurchsatz für die Mensch-Maschine Interaktion und adaptive Fertigung

beteiligte Institute: IAP

Sprecher: Prof. Dr. Herbert Gross

TAB– FGR: Achromatische Diffraktive Optiken auf Nichtplanaren Substratoberflächen

beteiligte Institute: IAP

Sprecher: Prof. Dr. Herbert Gross

Land Thüringen Verbundprojekte

Entwicklung und Herstellung eines diodengepumpten Festkörperlasers und Systemintegration in eine 3D-Bearbeitungsanlage für die Oberflächenfunktionalisierung von metallischen Werkstoffen (LSP200)

beteiligte Institute: IOQ



Thüringens Wissenschaftsminister Wolfgang Tiefensee (M) übergibt Förderbescheide für das standortübergreifende Innovationszentrum InQuoSens an die Universitäten Jena und Ilmenau. Foto: Jan-Peter Kasper

Europäische Union: 7. Forschungsrahmenprogramm, Horizon 2020, ERC-Grants

ERC-2014-ADG: Multi-dimensional interferometric amplification of ultrashort laser pulses

Beteiligte Institute: IAP

Sprecher: Prof. Dr. Andreas Tünnermann

ERC-2013-CoG: Advanced coherent ultrafast laser pulse stacking

beteiligte Institute: IAP

Sprecher: Prof. Dr. Jens Limpert

Marie Skłodowska-Curie Innovative: Lossless management—Optical design for manufacture at different length scales

beteiligte Institute: IAP

Sprecher: Dr. Frank Setzpfand

SiLAS— SiliconLaser

beteiligte Institute: IFTO

FP7-PEOPLE-2013-ITN: Luminous fluid flow in 2nd structures: experiment and theory

beteiligte Institute: IAP

Sprecher: Prof. Dr. Alexander Szameit

EXPHON—Exciton-Phonon Coupling from First Principles

beteiligte Institute: IFTO

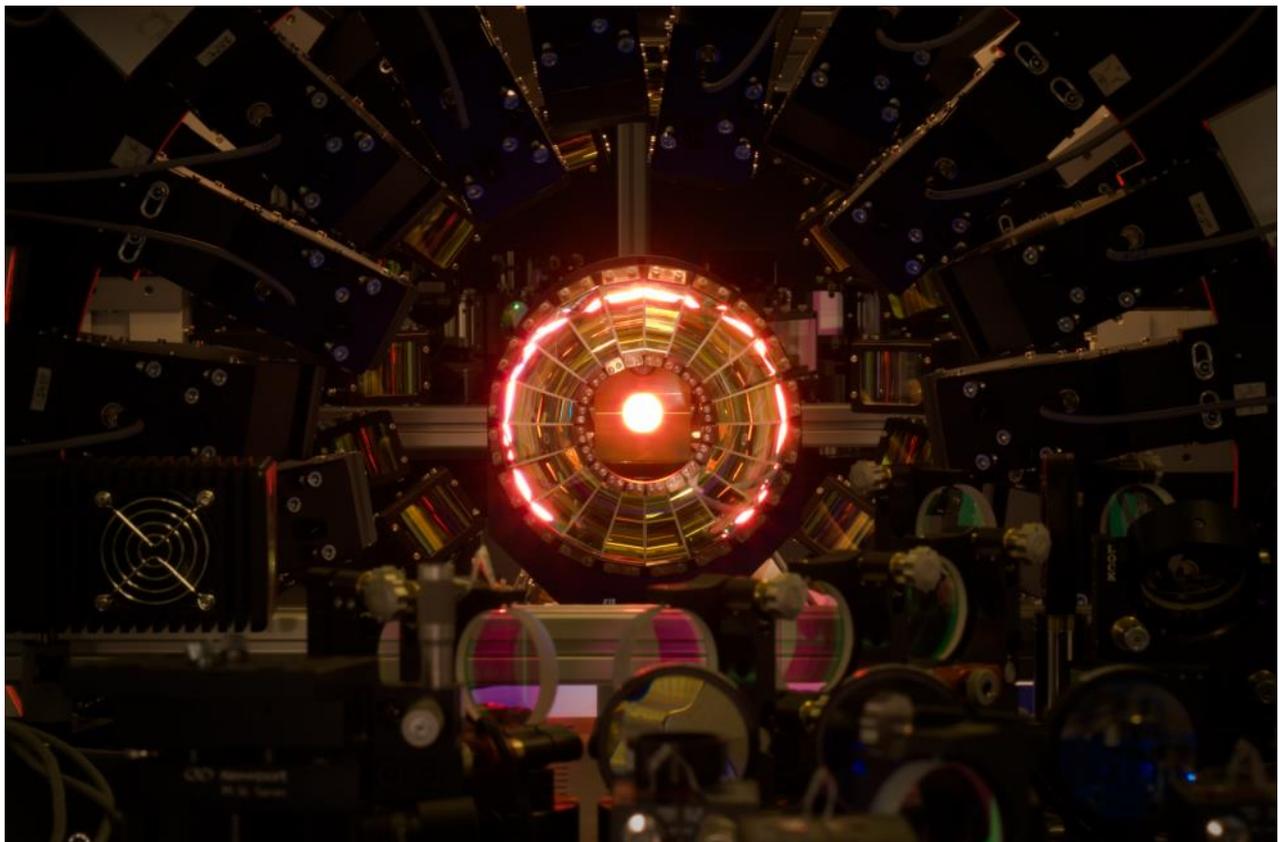
Sprecher: Prof. Dr. Silvana Botti

ELiTES: ET-LCGT Telescopes: Exchange of Scientists

beteiligte Institute: IFK

Erasmus Mundus Mobilitätsprojekt „NanoPhi“ Europe –Asia– Pacific Exchange programme in Nanophotonics

beteiligte Institute: ACP



Das Hochleistungslasersystem POLARIS ist Bestandteil mehrerer BMBF–Verbundprojekte z.B. ZIK ultra optics und onCOOptics. Foto: Ragnar Bödefeld

Wissenschaftlicher Nachwuchs

Die Physikalisch-Astronomische Fakultät ist an mehreren strukturierten Doktorandenprogrammen beteiligt.

Beteiligung an Graduiertenschulen, Graduiertenkollegs

Abbe School of Photonics (ASP)

Beteiligte Institute: IAP, IAO, IOQ, IFTO, TPI, IFK
Sprecher: Prof. Dr. Thomas Pertsch

GRK 1523/2 Quanten- und Gravitationsfelder

Beteiligte Institute: TPI
Sprecher: Prof. Dr. Andreas Wipf

GRK 2101 International Research Training Group „Guided Light, tightly packed: novel concepts, components and applications

Beteiligte Institute: IAP, IFTO, IOQ
Sprecher: Prof. Dr. Andreas Tünnermann

Graduiertenkolleg RS-APS Helmholtz Research School Advanced Photon Science

Beteiligte Institute: IAP, IOQ, TPI, HIJ
Sprecher: Prof. Dr. Christian Spielmann

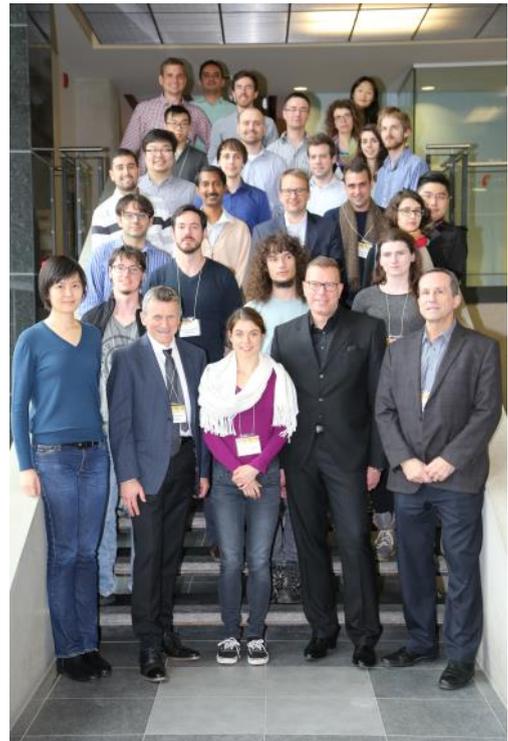


Abb.: Veranstaltung des GRK 2101: Die Teilnehmer der internationalen Herbstschule 2017 im kanadischen Québec City.

Doktorandenprogramm der ASP

In den Jahren 2016/17 konnte das Doktorandenprogramm der ASP erneut Zuwachs aus den Reihen der ständig zunehmenden Absolventen des Masterstudiengangs Photonics verbuchen. Derzeit stammen 69 der 133 Promovierenden aus dem Ausland, dies entspricht einer Steigerung von ca. 20% im Vergleich zu 2015. Basierend auf den durchweg positiven Erfahrungen aus dem Masterprogramm hat die ASP ihren Internationalisierungsprozess auch im Hinblick auf das Doktorandenprogramm weiter konsequent fortgesetzt. Unterstützt wurde dieses Vorhaben durch erfolgreich eingeworbene Drittmittelprojekte wie das DFG-GRK 2101 "Guided light, tightly packed", Stipendien des Deutschen Akademischen Austauschdiensts (DAAD), das Erasmus Mundus Mobilitätsprojekt "NanoPhi" mit Partnern in Australien und Neuseeland sowie diverse EU-Vernetzungsprojekte. Dabei liefert insbesondere das von der DFG geförderte internationale Graduiertenkolleg "Guided light, tightly packed" (GRK 2101), welches durch die ASP koordiniert wird, weiterhin einen großen Beitrag durch die andauernden, guten Beziehungen zu drei herausragenden kanadischen Forschungseinrichtungen in Toronto, Montréal und Québec City.

Mit dem Ziel der noch festeren Etablierung einer Partnerschaft mit der Australian National University in Canberra wurde am 13. September 2016 in Jena auf Initiative der ASP durch die jeweiligen Universitätsleitungen eine bemerkenswerte Kooperationsvereinbarung getroffen. Diese sieht vor, Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler künftig Doktorarbeiten zu ermöglichen, die von beiden Einrichtungen gemeinsam betreut werden. Das "Dual-PhD-Degree-Programm" ist zunächst auf acht Jahre angelegt. Mit der Vereinbarung stellen beide Einrichtungen ihre bereits über ein Jahrzehnt gewachsene Zusammenarbeit auf eine institutionelle Ebene. Es bestanden und bestehen zahlreiche gemeinsame Forschungsprojekte von Jenaer und australischen Arbeitsgruppen sowie ein reger wechselseitiger Austausch von Promovierenden und Wissenschaftlern. Für zukünftige Promovierende sieht das Programm vor, dass sie etwa ein Drittel ihrer Promotionszeit an der jeweils anderen Forschungseinrichtung verbringen. Während der gesamten Zeit werden die Doktorandinnen und Doktoranden sowohl von einem Jenaer als auch einem australischen Wissenschaftler

betreut. Die eingereichte Doktorarbeit muss den Kriterien beider Hochschulen entsprechen und führt entweder zum deutschen "Dr. rer. nat." oder dem australischen "Doctor of Philosophy" (PhD). Die Detail-Implementierung dieses Doppelgrads in die Promotionsordnung der Fakultät steht gegenwärtig noch aus.

Seit Gründung der ASP haben nun 135 Doktoranden und Doktorandinnen ihre Promotion mit einem Photonik-zentrierten oder -nahen Thema erfolgreich abgeschlossen. In den Jahren 2016 und 2017 haben 30 Promovierende der ASP an der Physikalisch-Astronomischen Fakultät ihren Dokortitel erhalten.

Ein wichtiger Bestandteil des ASP-Doktorandenprogramms sind interdisziplinäre, fakultätsübergreifende Seminare, die Promovierenden eine hervorragende Gelegenheit bieten sollen, ihre Forschungsergebnisse einem breiten wissenschaftlichen Publikum vorzustellen. Zeitgleich ermöglichen diese Seminare ein lebendiges Diskussionsforum sowohl innerhalb der Universität als auch mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Seit 2016 liegt der thematische Fokus auf den Themengebieten des GRK 2101, wodurch der Kreis der Vortragenden um Gäste und Professoren des GRK erweitert wurde.

Ein wesentliches Element des Doktorandenprogramms, das Jahr für Jahr vom Engagement und der Eigeninitiative der ASP-Doktoranden lebt, ist die Dokto-

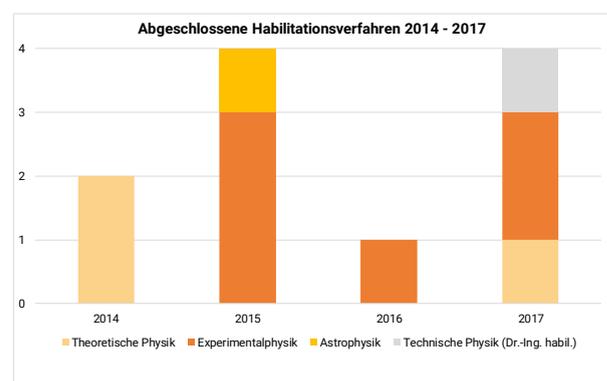
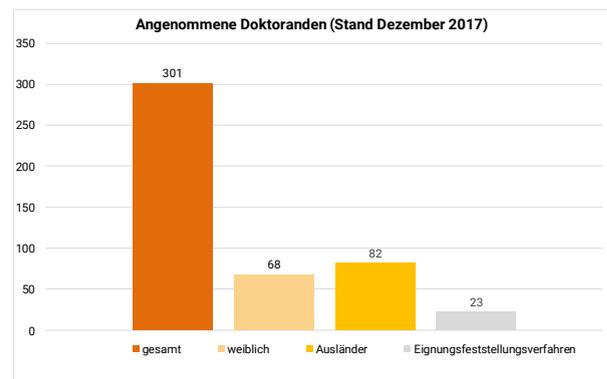
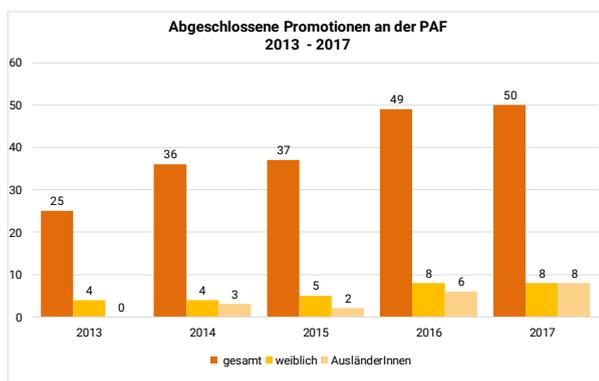
randenkonferenz "DokDok". Im September 2016 fand die 5. DokDoK auf Schloss Oppurg statt. Mit über 100 Teilnehmern und Gästen aus 29 Instituten und Firmen wurden die Kapazitäten der DokDoK voll ausgeschöpft. 56 Nachwuchswissenschaftler präsentierten Ergebnisse ihrer innovativen Forschung aus einem breiten Themenspektrum von Mikroskopie und Spektroskopie zu Metamaterialien und Nanooptik. Ein Höhepunkt war der integrierte CUDOS Workshop, in dem neun Wissenschaftler des Australischen Exzellenzclusters CUDOS ("Centre for Ultrahigh bandwidth Devices for Optical Systems") und des Abbe Center of Photonics gegenwärtige Trends im Bereich miniaturisierter, photonisch-mechanischer Schaltkreise und Komponenten erörterten.

Die 6. DokDoK wurde im September 2017 in Suhl im Hotel Michel organisiert. 49 Promovierende aus 11 Instituten und 10 eingeladene Vortragende aus Wissenschaft und Wirtschaft formten ein Programm, welches von Freiform-Spiegelprojektion und 3D-Messungen über der effizienten Konversion Höherer Harmonischer bis hin zu Metaoberflächen reichte. Ein äußerst inspirierender Höhepunkt der 6. DokDoK war der Vortrag von Dr. Tanja Baudson, der Initiatorin des deutschen Ablegers der "March for Science" Bewegung.

Die folgenden Diagramme geben einen Überblick über die Promotionen und Habilitationen an der Physikalisch-Astronomischen Fakultät in den vergangenen fünf Jahren. Besonders in den letzten beiden Jahren ist die Zahl der abgeschlossenen Promotionen um ca. ein Drittel gestiegen.

An der PAF gibt es etwa 300 Promovierende, ca. 27 % davon kommen aus dem Ausland. Ein Teil dieser Promovierenden sowie Absolventen von Fachhochschulen müssen sich einem Eignungsfeststellungsverfahren unterziehen und erhalten ggf. Auflagen.

Der Anteil der Doktorandinnen entspricht mit 22% in etwa dem Anteil der Studentinnen bei den Studierenden der Fakultät.



Publikationen

Nachfolgend sind einige wichtige Publikationen der einzelnen Arbeitsgruppen der PAF aufgelistet, um einen Einblick in die vielfältige Forschungstätigkeit zu geben. Für eine statistische Übersicht siehe Seite 17.

Astrophysikalisches Institut und Universitätssternwarte

Lehrstuhl für Astrophysik (Prof. Neuhäuser)

Schmidt, T.O.B., Neuhäuser, R., Briceño, C., Vogt, N., St. Raetz, Seifahrt, A., Ginski, C., Mugrauer, M., Buder, S., Adam, C., Hauschildt, P., Witte, S., Helling, C. and Schmitt, J.H.M.M. (2016): Direct Imaging discovery of a second planet candidate around the possibly transiting planet host CVSO 30. *Astron. Astrophys.* 593, A75. Online: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2016A%26A...593A..75S>

Professur für Astronomie (Prof. Krivov)

Kral, Q., Krivov, A.V., Defrère, D., van Lieshout, R., Bonsor, A., Augereau, J.-C., Thébault, P., Ertel, S., Lebreton, J. and Absil, O. (2017): Exozodiacal clouds. Hot and warm dust around main sequence stars. *Astron. Rev.* 13, 69–111. Online: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2017AstRv..13...69K>

Institut für Angewandte Physik

Lehrstuhl für Angewandte Physik (Prof. Tünnermann)

M. Chemnitz, M. Gebhardt, C. Gaida, F. Stutzki, J. Kobelke, J. Limpert, A. Tünnermann, M.A. Schmidt, Hybrid soliton dynamics in liquid-core fibres, *Nature Communications* 8, 42 (2017).

F. Zimmermann, A. Plech, S. Richter, A. Tünnermann, S. Nolte, The onset of ultrashort pulse-induced nanogratings, *Laser & Photonics Reviews* 10 (2), 327-334 (2016).

Professur für Festkörperlaser (Prof. Limpert)

J. Rothhardt, S. Hädrich, J.C. Delagnes, E. Cormier, J. Limpert, High Average Power Near-Infrared Few-Cycle Lasers, *Laser & Photonics Reviews* 11 (4), 1700043 (2017).

H. Carstens, M. Hoegner, T. Saule, S. Holzberger, N. Lilienfein, A. Guggenmos, C. Jocher, T. Eidam, D. Esser, V. Tosa, V. Pervak, J. Limpert, A. Tünnermann, U. Kleineberg, F. Krausz, I. Pupeza, High-harmonic generation at 250 MHz with photon energies exceeding 100 eV, *Optica* 3 (4), 366-369 (2016).

Professur für Laserphysik (Prof. Nolte)

S. Weimann, M. Kremer, Y. Plotnik, Y. Lumer, S. Nolte, K.G. Makris, M. Segev, M.C. Rechtsman, A. Szameit, Topologically protected bound states in photonic parity-time-symmetric crystals, *Nature Materials* 16 (4), 433-438 (2017).

Professur für Nanooptik (Prof. Pertsch)

M.R. Shcherbakov, S. Liu, V.V. Zubuyuk, A. Vaskin, P.P. Vabishchevich, G. Keeler, T. Pertsch, T.V. Dolgova, I. Staude, I. Brener, A.A. Fedyanin, Ultrafast all-optical tuning of direct-gap semiconductor metasurfaces, *Nature communications* 8 (1), 17 (2017).

S. Liu, M.B. Sinclair, S. Saravi, G.A. Keeler, Y.M. Yang, J. Reno, G.M. Peake, F. Setzpfandt, I. Staude, T. Pertsch, I. Brener, Resonantly Enhanced Second-Harmonic Generation Using III-V Semiconductor All-Dielectric Metasurfaces, *Nano Letters* 16 (9), 5426-5432 (2016).

Lehrstuhl für Theorie Optischer Systeme (Prof. Gross)

S. Schmidt, S. Thiele, A. Herkommer, A. Tünnermann, H. Gross, Rotationally symmetric formulation of the wave propagation method-application to the straylight analysis of diffractive lenses, *Optics Letters* 42 (8), 1612-1615 (2017).

C. Bösel, H. Gross, Ray mapping approach for the efficient design of continuous freeform surfaces, *Optics Express* 24, 14271 (2016).

Professur für Technische Physik (Prof. Wyrowski)

P. Ribes-Pleguezuelo, S. Zhang, E. Beckert, R. Eberhardt, F. Wyrowski, A. Tünnermann, Method to simulate and analyse induced stresses for laser crystal packaging technologies, *Optics Express* 25 (6), 5927-5940 (2017).

S. Zhang, D. Asoubar, C. Hellmann, F. Wyrowski, Propagation of electromagnetic fields between non-parallel planes: a fully vectorial formulation

and an efficient implementation, *Applied Optics* 55 (3), 529-538 (2016).

Juniorprofessur für Funktionelle Photonische Materialien (Jun.-Prof. Isabelle Staude)

Staude, J. Schilling, Metamaterial-inspired silicon nanophotonics, *Nature Photonics* 11 (5), 274-284 (2017).

Staude, C. Rockstuhl, SURFACE PHONON-POLARITONS to scatter or not to scatter, *Nature Materials* 15 (8), 821-822 (2016).

Außerplanmäßige Professur für Mikro- und Nanos-Strukturtechnik (apl. Prof. Uwe Zeitner)

Y. Bourgin, D. Voigt, T. Käsebier, T. Siefke, E.-B. Kley, U. D. Zeitner, 175 nm period grating fabricated by i-line proximity mask-aligner lithography, *Optics Letters* 42 (19), 3816-3819 (2017).

T. Siefke, S. Kroker, K. Pfeiffer, O. Puffky, K. Dietrich, D. Franta, I. Ohlídal, A. Szeghalmi, E.-B. Kley, A. Tünnermann, Materials Pushing the Application Limits of Wire Grid Polarizers further into the Deep Ultraviolet

Institut für Festkörperphysik

Lehrstuhl für Angewandte Physik/ Festkörperphysik (Prof. Fritz)

A. Baby, M. Gruenewald, C. Zwick, F. Otto, R. Forker, G. v. Straaten, M. Franke, B. Stadtmüller, C. Kumpf, G. P. Brivio, G. Fratesi, T. Fritz, and E. Zojer "Fully Atomistic Understanding of the Electronic and Optical Properties of a Prototypical Doped Charge-Transfer Interface", *ACS Nano* 11, 10495 (2017). DOI: 10.1021/acsnano.7b05828

Lehrstuhl für Experimentalphysik/ Festkörperphysik (Prof. Ronning)

Johannes, D. Salomon, G. Martinez-Criado, M. Glaser, A. Lugstein, C. Ronning „In operando x-ray imaging of nanoscale devices: Composition, valence, and internal electrical fields“, *Science Advances* 3, eaao4044 (2017). DOI: 10.1126/sciadv.aao4044

Professur für Tieftemperaturphysik (Prof. Seidel)

C. Tarantini, K. Iida, J. Hanisch, F. Kurth, J. Jaroszynski, N. Sumiya, M. Chihara, T. Hatano, H. Ikuta, S. Schmidt, P. Seidel, B. Holzapfel, D.C. Larbalestier, "Intrinsic and extrinsic pinning in NdFeAs(O,F): vortex trapping and lock-in by the layered structure", *Scientific Reports* 6, 36047 (2016). DOI: 10.1038/srep36047

Apl. Professur für Ionenstrahlphysik (apl. Prof. Wendler)

K. Lorenza, E. Wendler, A. Redondo-Cuberoac, N. Catarinoa, M.-P. Chauvat, S. Schwaigere, F. Scholze, E. Alvesa, P. Ruteranad, „Implantation damage formation in a-, c- and m-plane GaN“, *Acta Materialia* 123, 177 (2017). DOI: 10.1016/j.actamat.2016.10.020

Apl. Professur für Dünne Schichten (apl. Prof. Schmidl)

G. Schmidl, J. Dellith, N. Teller, A. Bochmann, S. Teichert, O. Stranik, A. Dathe, V. Tympel, F. Schmidl, E. Kessler, T. Wieduwilt, W. Fritzsche, "Confocal sputtering of (111) orientated smooth gold films for surface plasmon resonance approaches", *Vacuum* 138, 55 (2017). DOI: 10.1016/j.vacuum.2017.01.025

Institut für Festkörpertheorie und -optik

Lehrstuhl für Festkörpertheorie (Prof. Botti)

Predicting the thermodynamic stability of solids combining density functional theory and machine learning J. Schmidt, J. Shi, P. Borlido, L. Chen, S. Botti, and M.A.L. Marques *Chem. Mat.* 29, 5090-5103 (2017)

Lehrstuhl für Festkörperoptik (Prof. Peschel)

M. Wimmer, H. M. Price, I. Carusotto, and U. Peschel, "Experimental measurement of the Berry curvature from anomalous transport," *Nature Physics* 13, 545-550 (2017).

Institut für Optik und Quantenelektronik

Lehrstuhl für Quantenelektronik (Prof. Spielmann)

R. Sollapur, D. Kartashov, M. Zürch, A. Hoffmann, T. Grigorova, G. Sauer, A. Hartung, A. Schwuchow, J. Bierlich, J. Kobelke, M. Chemnitz, M. A Schmidt, C. Spielmann, *Resonance-enhanced multi-octave supercontinuum generation in antiresonant hollow-core fibers*, *Light: Science & Applications* 6 (12), e17124 (2017), DOI: 10.1038/lsa.2017.124

V. Shumakova, P. Malevich, S. Alisaukas, A. Voronin, A. M. Zheltikov, D. Faccio, D. Kartashov, A. Baltuska, A. Pugzlys, *Multi-millijoule few-cycle mid-infrared pulses through nonlinear self-compression in bulk*, *NATURE COMMUNICATIONS* 7, 12877 (2016), DOI: 10.1038/ncomms12877

Lehrstuhl für Nichtlineare Optik (Prof. Paulus)

D. Hoff, M. Krüger, L. Maisenbacher, A. M. Saylor, G. G. Paulus, and P. Hommelhoff, *Tracing the phase of focused broadband laser pulses*, Nat. Phys., vol. 110, p. 1251, Jul. 2017

S. Fuchs, M. Wünsche, J. Nathanael, J. J. Abel, C. Rödel, J. Biedermann, J. Reinhard, U. Hübner, and G. G. Paulus, *Optical coherence tomography with nanoscale axial resolution using a laser-driven high-harmonic source*, Optica, vol. 4, no. 8, pp. 903–906, Aug. 2017

Lehrstuhl für Relativistische Laserphysik (Prof. Kaluza)

I. Tamer, S. Keppler, M. Hornung, J. Körner, J. Hein and M. C. Kaluza, *Spatio-temporal characterization of pump-induced wavefront aberrations in Yb³⁺-doped materials*, Laser & Photonics Reviews, 1700211 (DOI: 10.1002/lpor.201700211)

M. Hornung, H. Liebetrau, S. Keppler, A. Kessler, M. Hellwing, F. Schorcht, G. Becker, M. Reuter, J. Polz, J. Körner, J. Hein, M. C. Kaluza, *Generation of 54 J pulses with 18 nm bandwidth from a diode-pumped chirped-pulse amplification laser system*, OPTICS LETTERS **41** (22) (2016) 5413-5416, DOI: 10.1364/OL.41.005413

Lehrstuhl für Atomphysik hochgeladener Ionen (Prof. Stöhlker)

J. Ullmann, Z. Andelkovic, C. Brandau, A. Dax, W. Geithner, C. Geppert, C. Gorges, M. Hammen, V. Hannen, S. Kaufmann, K. König, Y. A. Litvinov, M. Lochmann, B. Maaß, J. Meisner, T. Murböck, R. Sánchez, M. Schmidt, S. Schmidt, M. Steck, Th. Stöhlker, R. C. Thompson, C. Trageser, J. Vollbrecht, C. Weinheimer and W. Nörtershäuser, *High precision hyperfine measurements in Bismuth challenge bound-state strong-field QED*, NATURE COMMUNICATIONS **8** (2017) 15484, DOI: 10.1038/ncomms15484

K.-H. Blumenhagen, S. Fritzsche, T. Gassner, A. Gumberidze, R. Martin, N. Schell, D. Seipt, U. Spillmann, A. Surzhykov, S. Trotsenko, G. Weber, V. A. Yerokhin, and Th. Stöhlker, *Polarization transfer in Rayleigh scattering of hard x-rays*, NEW JOURNAL OF PHYSICS **18** (2016) 119601, DOI: 10.1088/1367-2630/18/11/119601

Lehrstuhl für Laserteilchenbeschleunigung (Prof. Zepf)

M. Yeung, S. Rykovanov, J. Bierbach, L. Li, E. Eckner, S. Kuschel, A. Woldegeorgis, C. Rödel, A. Sävert, G. G. Paulus, M. Coughlan, B. Dromey, M. Zepf, *Experimental observation of attosecond*

control over relativistic electron bunches with two-colour fields, NATURE PHOTONICS **11** (1) (2017) 32-35, DOI: 10.1038/NPHOTON.2016.239

S. Kar, H. Ahmed, R. Prasad, M. Cerchez, S. Brauckmann, B. Aurand, G. Cantonon, P. Hadjisolomou, C. L. S. Lewis, A. Macchi, G. Nersisyan, A. P. L. Robinson, A. M. Schroer, M. Swantusch, M. Zepf, O. Willi, M. Borghesi, *Guided post-acceleration of laser-driven ions by a miniature modular structure*, NATURE COMMUNICATIONS **7** (2016) 10792, DOI: 10.1038/ncomms10792

Juniorprofessur für Attosekunden-Laserphysik (Jun.-Prof. Pfeiffer)

C. G. Leithold, J. Reislöhner, H. Gies, and A. N. Pfeiffer, *Characterization of two ultrashort laser pulses using interferometric imaging of self-diffraction*, OPTICS LETTERS **42**(24)(2017)5246-5249, <https://doi.org/10.1364/OL.42.005246>

J. Reislöhner and A. N. Pfeiffer, *The role of delay times in subcycle-resolved probe retardation measurements*, Physica E **76**, 223, (2016), DOI: 10.1016/j.physe.2015.10.027

AG Röntgenoptik (Prof. Förster)

L. Deak, L. Bottyan, T. Fulop, D. G. Merkel, D. L. Nagy, S. Sajti, K. S. Schulze, H. Spiering, I. Uschmann, H. C. Wille, *Realizing total reciprocity violation in the phase for photon scattering*, SCIENTIFIC REPORTS **7** (2017) 43114, DOI: 10.1038/srep43114

H. Bernhardt, B. Marx-Glowna, K. S. Schulze, B. Grabiger, J. Haber, C. Detlefs, R. Löttsch, T. Kämpfer, R. Röhlberger, E. Förster, T. Stöhlker, I. Uschmann, G. G. Paulus, *High purity x-ray polarimetry with single-crystal diamonds*, APPLIED PHYSICS LETTERS **109** (12) (2016), DOI: 10.1063/1.4962806

Otto-Schott-Institut für Materialforschung**Lehrstuhl für Metallische Werkstoffe (Prof. Rettenmayr)**

M. Drüe, M. Seyring, M. Rettenmayr, *Phase Formation And Microstructure in Lithium-Carbon Intercalation Compounds During Lithium Uptake and Release*, Journal of Power Sources **353** (2017)58-66, DOI: 10.1016/j.powsour.2017.03.152

Lehrstuhl für Materialwissenschaft (Prof. Jandt)

Christian Helbing, Tanja Deckert-Gaudig, Izabela Firkowska-Boden, Gang Wei, Volker Deckert, and Klaus D. Jandt, *Protein Handshake on the Nano-scale: How Albumin and Hemoglobin Self-Assemble into Nanohybrid Fibers*. ACS Nano (2018), DOI: 10.1021/acsnano.7b07196

Professur für Oberflächen- und Grenzflächentechnologien (Prof. Müller)

A Tesch, C Wenisch, KH Herrmann, JR Reichenbach, P Warncke, D Fischer, FA Müller, *Lumino-magnetic Eu³⁺- and Dy³⁺-doped hydroxyapatite for multimodal imaging*, Materials Science and Engineering: C 81(2017)422-431, DOI: 10.1016/j.msec.2017.08.032

Professur für Computational Materials Science (Prof. Sierka)

A. E. Seitz, M. Eckhardt, S. S. Sen, A. Erlebach, E. V. Peresyphina, H. W. Roesky, M. Sierka, M. Scheer, *Different Reactivity of As₄ towards Disilenes and Silylenes*, Angew. Chem. Int. Ed. 56(2017) 6755-6759, DOI: 10.1002/anie.201701740

Professur für Mechanik funktioneller Materialien (Prof. Gnecco)

J J Mazo, D Dietzel, A Schirmeisen, J G Vilhena, E Gnecco, *Time strengthening of crystal nano-contacts*, Physical Review Letters 118(2017) 246101, DOI: 10.1103/PhysRevLett.118.246101

Theoretisch-Physikalisches Institut**Lehrstuhl für Quantentheorie (Prof. Wipf)**

B. Wellegehausen, D. Schmidt, A. Wipf, Critical flavor number of the Thirring model in three dimensions, Phys. Rev. D96 (2017) 094504, DOI: 10.1103/PhysRevD.96.094904

Lehrstuhl für Quantentheorie (Prof. Gies)

Holger Gies, Benjamin Knorr, Stefan Lippoldt, Frank Saueressig, Gravitational Two-Loop Counterterm Is Asymptotically Safe, Phys.Rev.Lett. 116 (2016) no.21, 211302, DOI: 10.1103/PhysRevLett.116.211302

Holger Gies, Felix Karbstein, An Addendum to the Heisenberg-Euler effective action beyond one loop, JHEP 1703 (2017) 108, DOI: 10.1007/JHEP03(2017)108

Lehrstuhl für Gravitationstheorie (Prof. Brügmann)

LIGO Scientific and Virgo Collaborations (B. P. Abbott (LIGO Lab., Caltech) et al.), [includes Reetika Dudi in author list], GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral, Phys.Rev.Lett. 119 (2017) no.16, 161101, DOI: 10.1103/PhysRevLett.119.161101

Lehrstuhl für Theorie korrelierter Quantensysteme (Prof. Fritzsche)

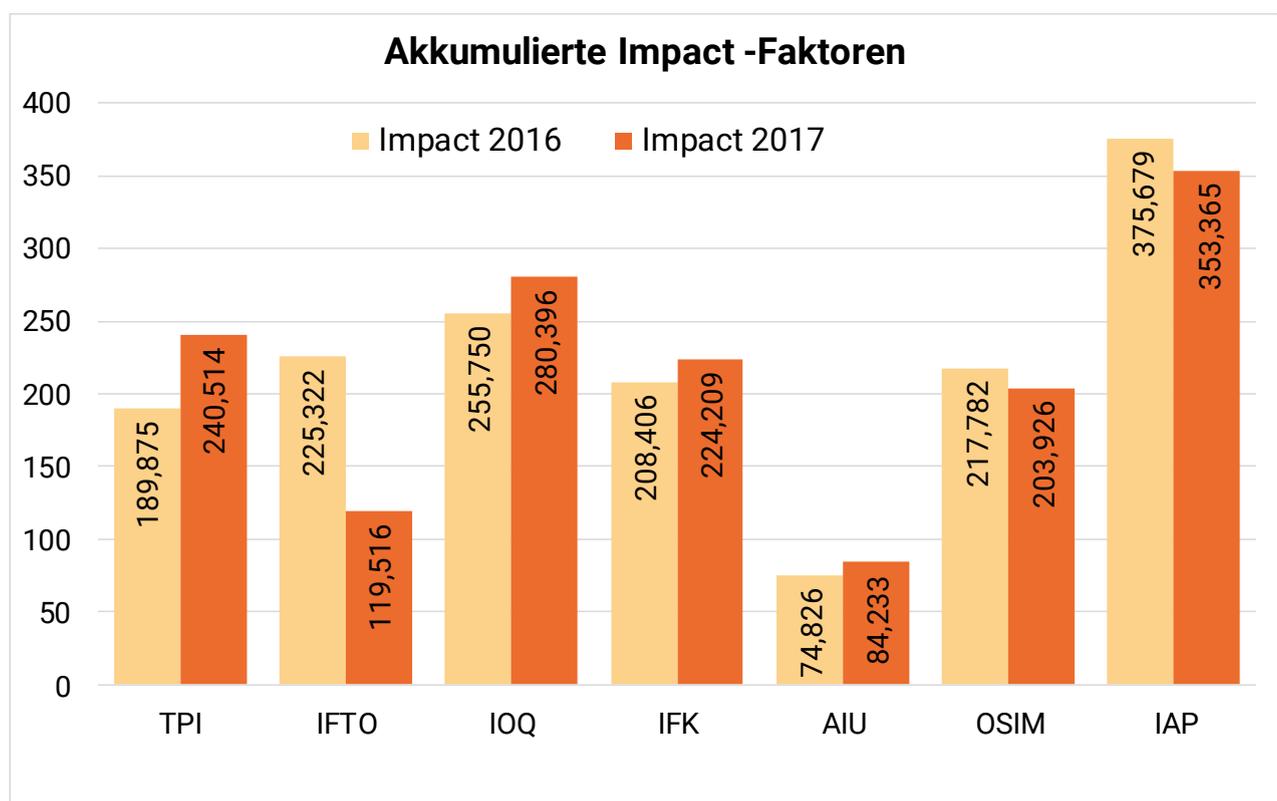
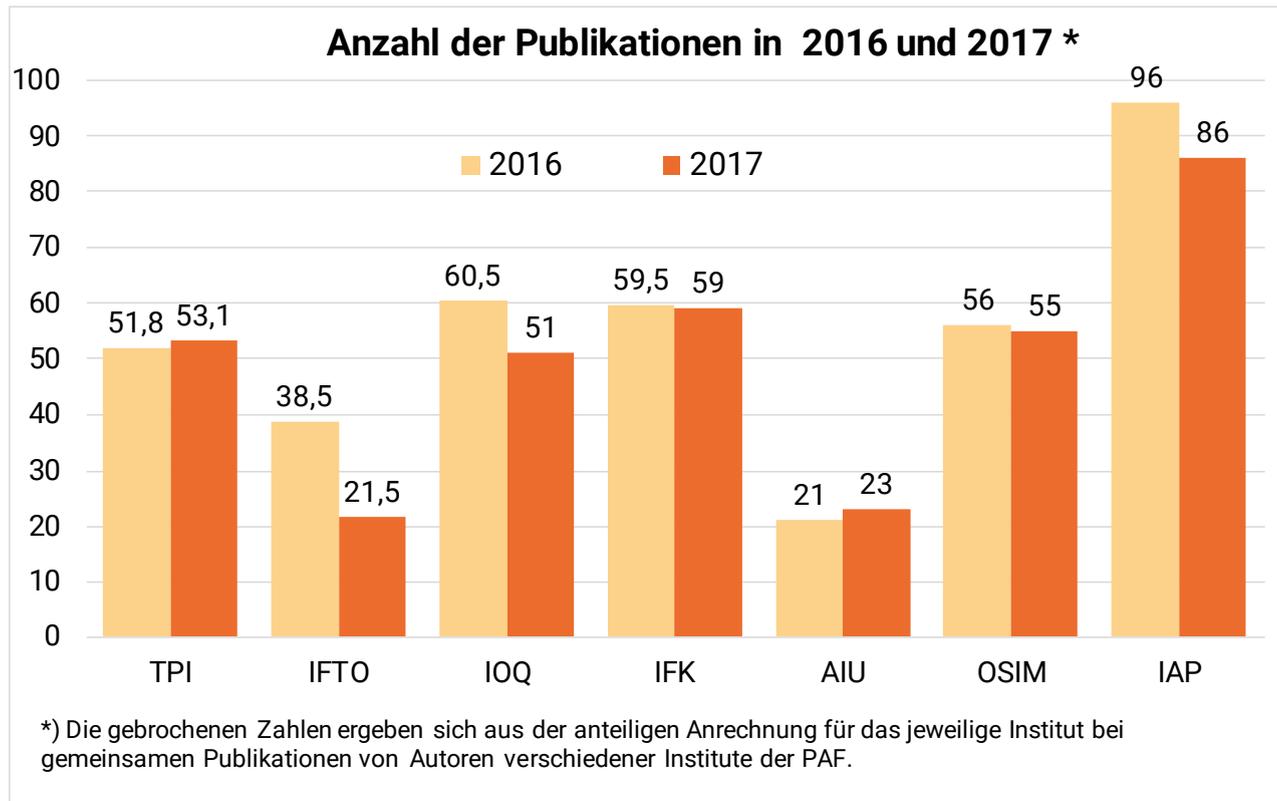
R. Ferrer, A. Barzakh, B. Bastin, R. Beerwerth, M. Block, P. Creemers, H. Grawe, R. de Groote, P. Delahaye, X. Flechard, S. Franchoo, S. Fritzsche, L. P. Gaffney, L. Ghys, W. Gins, C. Granados, R. Heinke, L. Hijazi, M. Huyse, T. Kron, Y. Kudryavtsev, M. Laatiaoui, N. Lecesne, M. Loiselet, F. Lutton, I. D. Moore, Y. Martinez, E. Mogilevskiy, P. Naubereit, J. Piot, S. Raeder, S. Rothe, H. Savajols, S. Sels, V. Sonnenschein, J.-C. Thomas, E. Traykov, C. Van Beveren, P. Van den Bergh, P. Van Duppen, K. Wendt, A. Zadornaya, Towards high-resolution laser ionization spectroscopy of the heaviest elements in supersonic gas jet Expansion, Nature communications 8, 14520:1–9 (2017), DOI: 10.1038/ncomms14520
F. Siek, S. Neb, P. Bartz, M. Hensen, C. Strüber, S. Fiechter, M. Torrent-Sucarrat, V. M. Silkin, E. E. Krasovskii, N. M. Kabachnik, S. Fritzsche, R. Diez Muino, P. M. Echenique, A. K. Kazansky, N. Müller, W. Pfeiffer, U. Heinzmann, Angular momentum-induced delays in solid-state photoemission enhanced by intra-atomic interactions, Science 357, 1274–1277 (2017), DOI: 10.1126/science.aam9598

Juniorprofessur für Quantentheorie (Jun.-Prof. Ammon)

M. Ammon, M. Heinrich, A. Jimenez-Alba, S. Moeckel, Surface States in holographic Weyl semimetals, Phys. Rev. Lett. 118 (2017) 20

Dozentur für Relativistische Astrophysik (apl. Prof. Meinel)

Reinhard Meinel, Spezielle und allgemeine Relativitätstheorie für Bachelorstudenten, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016, DOI: 10.1007/978-3-662-49856-9



Tagungen

Die nachfolgende Auflistung enthält Tagungen und Konferenzen, die in den Jahren 2016 und 2017 von Arbeitsgruppen der PAF (mit)-organisiert und (mit)-veranstaltet wurden.

Astrophysikalisches Institut und Universitätssternwarte

Professur für Astronomie (Prof. Krivov)

Planet Formation and Evolution, 25.-27.9.2017 in Jena, etwa 150 Teilnehmer/innen In- und Ausland, SOC chair: A. Krivov, <http://www.astro.uni-jena.de/~pfe2017>

Splinter-Meeting "Exoplanets" bei der Jahrestagung der Astronomischen Gesellschaft 18.-22.9.2017 in Göttingen, SOC co-chairs u.a. A. Krivov, <http://ag2017.uni-goettingen.de/splinter/exoplanets.php>

Lehrstuhl für Astrophysik (Prof. Neuhäuser)

Splinter-Meeting "Stars - gods - rainbows" beim Deutschen Orientalisten-Tag 18.-22.9.2017 in Jena, SOC co-chair R. Neuhäuser (AIU), <http://www.dot2017.de/>

Institut für Angewandte Physik

Lehrstuhl für Angewandte Physik
(Prof. Tünnermann)

Ultra Precision Manufacturing of Aspheres and Freeforms – Imaging and Non-imaging Applications, Changchun, China, Sept. 2017

Next generation fiber technology – perspectives and roadmap, Jena, Nov. 2017

Professur für Festkörperlaser (Prof. Limpert)

SPIE Optics+Optoelectronics, High-Power, High-Energy, and High-Intensity Laser Technology, Prag, Tschechische Republik (Jens Limpert).

SPIE Photonics West, Fiber Lasers XV: Technology and Systems, San Francisco, USA, Feb. 2016 (César Jauregui Misas).

CLEO@/Europe 2017, Fibre and Guided Wave Lasers and Amplifiers, München, Juni 2017 (César Jauregui Misas).

CLEO@/Europe 2017, Ultrafast Optical Technologies, München, Juni 2017 (Jan Rothhardt).

Professur für Laserphysik (Prof. Nolte)

SPIE Photonics West LASE, Frontiers in Ultrafast Optics: Biomedical, Scientific, and Industrial Applications XVII, San Francisco, USA, Jan. 2017

CLEO@/Europe 2017, Materials Processing with Lasers, München, Juni 2017

WLT, München, Juni 2017

Ultra Precision Manufacturing of Aspheres and Freeforms – Imaging and Non-imaging Applications, Changchun, China, Sept. 2017

SPIE Photonics West LASE, Frontiers in Ultrafast Optics: Biomedical, Scientific, and Industrial Applications XVI, San Francisco, USA, Feb. 2016

OSA Bragg Gratings, Photosensitivity and Poling in Glass Waveguides, Sydney, Australien, Sept. 2016

Professur für Nanooptik (Prof. Pertsch)

14th International Conference on Education and Training in Optics and Photonics (ETOP), Hangzhou, China, Mai 2017

10th International Conference on Optics-photonics Design and Fabrication (ODF), Weingarten, Febr. 2016

5th Laser Display and Lighting Conference (LDC), Jena, Juli 2016

OSA Nonlinear Photonics (NP), Sydney, Australien, Sept. 2016

Lehrstuhl für Theorie optischer Systeme
(Prof. Gross)

OSA International Optical Design Conference, Denver, USA, Juli 2017

Workshop Ultra Precision Manufacturing of Aspheres and Freeforms, Jena, Sept. 2016

Professur für Technische Physik (Prof. Wyrowski)

SPIE Optical Metrology, Modeling Aspects in Optical Metrology, München, Juni 2017

SPIE Optics and Photonics China, Optical Storage and Display Technology, Beijing, China, Juni 2017

SPIE Photonics Europe, Optical Modelling and Design, Brüssel, Belgien, Apr. 2016

EOS Topical Meeting on Diffractive Optics, Joensuu, Finnland

OSA Conference on Digital Holography & 3D Imaging, Jeju Island, Südkorea, Mai 2017

Apl. Professur für Mikro- und Nanostrukturtechnik (Prof. Zeitner)

SPIE-Advanced Optical Microlithography Conference, San Jose, USA, 26. Feb. – 2. Mrz. 2017

Microoptics conference, Tokyo, Japan, 19.-22. Nov. 2017

Institut für Optik und Quantenelektronik

Lehrstuhl für Atomphysik hochgeladener Ionen (Prof. Stöhlker)

13th SPARC Topical Workshop, 16.-20.09.2016 in Krakau/Polen

Workshop „Atomic Physics with (super) Heavy Atoms and Ions“, 26.10.2016 in Jena, zusammen mit Stephan Fritzsche (TPI), Andrey Volotka (HIJ)

Workshop des Helmholtz-Programms „From Matter to Materials and Life“, 21.12.-23.12.2016 in Hamburg

APPA R&D Collaboration Meeting, 12.01.-13.01.2017 in Darmstadt

Symposium DPG-Frühjahrstagung: Atomic & Plasma Physics at FAIR, 07.03.2017 in Mainz

Workshop „Research with CRYRING@ESR“, 24.04.-25.04.2017 in Darmstadt

Workshop „Storage Ring Physics and Accelerator Technologies“, 05.09.-08.09.2017 in Peking/China

14th SPARC Topical Workshop, 11.09.-14.09.2017 in Caen/Frankreich

Lehrstuhl für Relativistische Laserphysik (Prof. Kaluza)

High-Power, High-Energy, and High-Intensity Laser Technology (Conference 10238 of SPIE Optics + Optoelectronics), 24.-27.04.2017 in Prag, Tschechische Republik, Joachim Hein (conference chair)

High Energy Class – Diode pumped Solid State Lasers (HEC-DPSSL) International Workshop, 23.-26.05.2017 in Noribetsu, Japan, Dr. Joachim Hein et. al.

Juniorprofessur für Attosekunden-Laserphysik (Jun.-Prof. Pfeiffer)

Conference on Lasers and Electro-Optics Europe (CLEO/Europe), 25.06.-29.06.2017 in München, Adrian Pfeiffer (Mitglied des Subkomitees für Themenbereich "CG - High-Field Laser and Attosecond Science")

Doktoranden verschiedener Arbeitsgruppen

DokDok 2017 (doctoral conference on optics), 18.09.-22.09.2017 in Suhl, Jan Reislöhner, Zhanna Samsonova, Frederik Tuitje, Rudrakant Sollapur, zusammen mit Andreas Stark (IAO)

Otto-Schott-Institut für Materialforschung

Euro BioMAT 2017, Weimar, 09.05. – 10.05.2017

European Nanomanipulation Workshop, Jena, 20.02. – 22.02.2017

International Conference “Structural and Phase Transformations in Materials: Theory, Computer Modeling and Experiment”, Ekaterinburg, Russland, 23.03. – 27.03.2017

Theoretisch-Physikalisches Institut

Lehrstuhl für Quantentheorie (Prof. Wipf)

MITP Workshop "Quantum Vacuum and Gravitation: Testing General Relativity in Cosmology" Mainz Institute for Theoretical Physics, Johannes Gutenberg University, 13. - 24. März 2017

DPG Frühjahrstagungen

29.02 - 04.03.2016 in Hamburg

13.03 - 17.03.2017 in Bremen

als Sprecher des Fachverbandes "Theoretische und Mathematische Grundlagen der Physik"

Workshops des Graduiertenkollegs 1523/2

Lehrstuhl für Quantentheorie (Prof. Gies)

Workshop on Strongly-Interacting Field Theories 2017

Juniorprofessur für Quantentheorie

(Jun.-Prof. Ammon)

Frühjahrsschule Perlen der theoretischen Physik, 2016 und 2017, Jena

Konferenz "Classical and quantum symmetries in mathematics and physics", 2016, Jena, Satellitenkonferenz zum European Congress of Mathematics (gemeinsam mit der Fakultät für Mathematik und Informatik, FSU Jena)

Workshop "Numerical Holography", 2016, Santiago de Compostela, Spanien

Lehrstuhl für Gravitationstheorie

(Prof. Brügmann)

Symposium "Computational Challenges in Relativistic Matter Simulations" at PASC 17, 26.-28.6.2017, Lugano (Schweiz)

Astrophysikalisches Institut und Universitätssternwarte (AIU)



Institutsdirektor: Prof. Dr. Ralph Neuhäuser

Lehrstuhl für Astrophysik

Prof. Dr. Ralph Neuhäuser

Professur für Astronomie

Prof. Dr. Alexander Krivov

Adresse: Schillergässchen 2 –3, 07745 Jena

Homepage: www.astro.uni-jena.de

Lehrstuhl für Astrophysik Prof. Dr. Ralph Neuhäuser

Forschungsschwerpunkte

- Terra-Astronomie: Nutzung historischer Himmelsbeobachtungen für aktuelle astrophysikalische Probleme wie Rekonstruktion der Sonnenaktivität und historischer Supernovae
- Extra-solare Planeten: Entstehung und frühe Entwicklung von Planeten und Sternen durch Beobachtung per direct imaging (Adaptive Optik) und Transit-Methode, u.a. auch am Observatorium der FSU Jena in Großschwabhausen
- Supernovae, Neutronensterne, Runaway-Sterne: Kinematik von Runaway-Sternen sowie jungen Neutronensternen und Supernova-Überresten zur Untersuchung von Supernovae in Doppelsternen, u.a. auch optische und Röntgenbeobachtungen
- Laborastrophysik: Labor-THz-Spektroskopie von astrophysikalisch wichtigen Staub-Analoga

Forschungsprojekt 1: Terra-Astronomie mit historischen Himmelsbeobachtungen

Wir nutzen historische Himmelsbeobachtungen der vergangenen Jahrhunderte, insbesondere auch aus der vor-teleskopischen Zeit, um damit aktuelle Fragen der Astrophysik zu bearbeiten. Wir arbeiten hier mit Arabisten, Sinologen und Alt-Philologen zusammen, um die alten Texte optimal zu verstehen.

(a) Rekonstruktion der Sonnenaktivität: Durch Analyse historisch beobachteter Aurorae und Sonnenflecke sowie unter Berücksichtigung des Radiokarbons (Proxy für Sonnenwind) konnten wir die starke ^{14}C -Variation um AD 775 durch

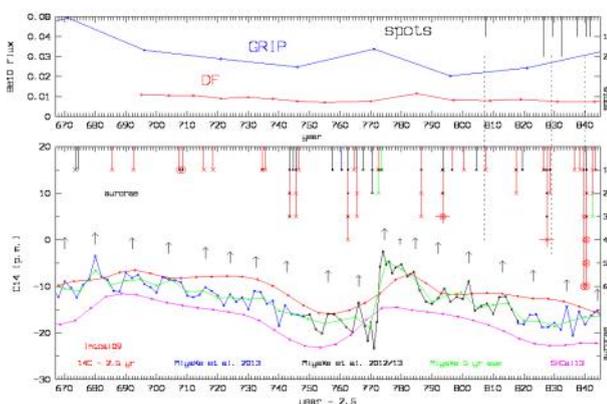


Abb. 1. Sonnenflecke und ^{10}Be von der Arktis (Grip) und Antarktis (DF) (oben), Aurorae (mittig) und ^{14}C (unten) zeigen, dass die Sonnenaktivität von etwa AD 770 bis 785 geringer als üblich war; die Pfeile zeigen Minima der Schwabe-Zyklen an (Maxima in ^{14}C). (Neuhäuser & Neuhäuser 2015 Astron. Notes 336, 930)

einen starken Rückgang der Sonnenaktivität erklären: Weniger Aktivität ergibt weniger Sonnenwind, so dass mehr kosmische Strahlung ins Sonnensystem kam, und u.a. auf der Erde mehr Radiokarbon produziert wurde.

(b) Man kann mit historischen Beobachtungen nahe Supernovae und deren Überreste besonders gut untersuchen (Alter, Position, Lichtkurve, Farbentwicklung, etc.). So haben wir neue arabische Berichte der Supernova von 1006 gefunden (von Ibn Sina und aus dem Jemen) sowie erste arabische Berichte von den Supernovae von 1572 (Tycho) und 1604 (Kepler).

Neuhäuser R. et al. (2016): Arabic reports about Supernovae 1604 and 1572 from Yemen, *Journal for the History of Astronomy* 47, 359

Neuhäuser R. et al. (2017): Interpretation of the historic Yemeni reports of supernova SN 1006: early discovery in mid-April 1006?, *Astronomical Notes* 338, 8

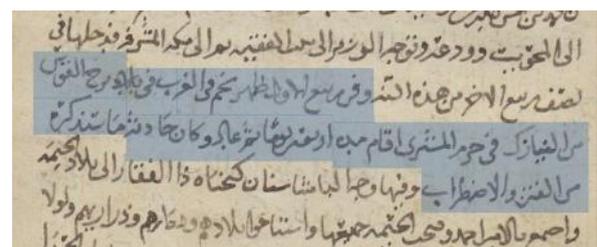


Abb. 2. Dieser arabische Text aus dem Jemen über Keplers Supernova von 1604 berichtet für den Herbst des Jahres 1013 Hijra: "And ... a star of the nayāzik [transients] appeared in the West in (the beginning of) the zodiacal sign Sagittarius, as large as Jupiter [literally: in the body/appearance of Jupiter]. It remained for 40 days and then disappeared."

Forschungsprojekt 2: Extra-solare Planeten

Wir beobachten junge extra-solare Planeten mit Direktaufnahmen per Adaptiver Optik im Infraroten (Großteleskope wie VLT) und mit der Transit-Methode (u.a. mit dem 90-cm-Teleskop der FSU Jena). Wir haben bei einem jungen Stern im Gebiet 25 Ori mit jeder der beiden Methoden je einen Planeten entdeckt, so dass dies der erste bekannte junge Stern ist, bei dem sowohl ein sehr enger Transitplanet als auch ein sehr weiter direkt aufgenommener Planet bekannt sind. Hieraus ergeben sich Rückschlüsse auf die dynamische Entwicklung in jungen Planetensystemen.

Raetz S. et al. (2016): YETI observations of the young transiting planet candidate CVSO 30 b. *Monthly Notices Royal Astronomical Society*, 460, 2834

Schmidt T., Neuhäuser R., et al. (2016): Direct Imaging discovery of a second planet candidate around the transiting planet host CVSO 30, *Astronomy & Astrophysics*, 593, 75

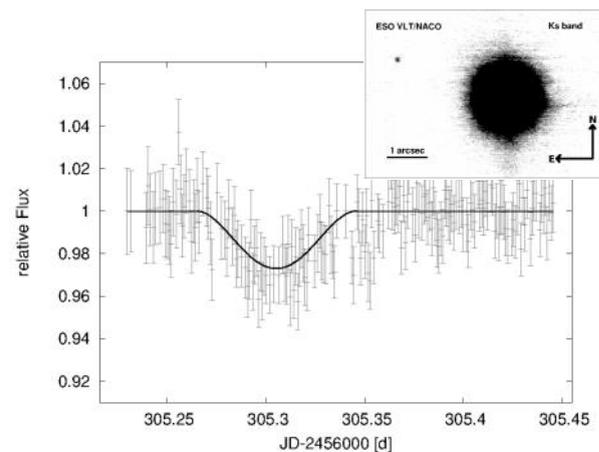


Abb. 3. Links: Lichtkurve des neuen jungen Transit-Planeten b, aufgenommen am Observatorium der FSU Jena: Geringe Verdunkelung des Sterns, als der Planet vor ihm herzog (Raetz et al., 2016, *MNRAS* 460, 2834). Rechts: VLT K-Band Bild von Stern und Planet c (Schmidt et al. 2016, *A&A* 593, 75).

Forschungsprojekt 3: Supernovae, Neutronensterne und Runaway-Sterne

Wir berechnen die Bewegung von Runaway-Sternen (GAIA-Daten) und Neutronensternen zurück, um Positionen und Zeitpunkte von Supernovae in Doppelsternen zu finden. Dabei haben wir einen Runaway-Stern in einem Supernova-Überrest mit Pulsar gefunden (S 147): Stern und Pulsar waren vor 30000 Jahren im Zentrum des Überrestes, dem Ort der Supernova (Dincel, Neuhäuser et al. 2015, *MNRAS* 448, 3196). Wir suchen nun bei historischen Supernovae nach Runaway-Sternen (Doktorarbeiten Oliver Lux und Anna Pannicke). Zudem beobachten wir Neutronensterne im optischen und Röntgenlicht.

Hambaryan, V., Suleimanov, V., Haberl, F., Schwöpe, A.D., Neuhäuser, R., Hohle, M. and Werner, K. (2017): The compactness of the isolated neutron star RX J0720.4-3125. *Astron. Astrophys.* 601, A108

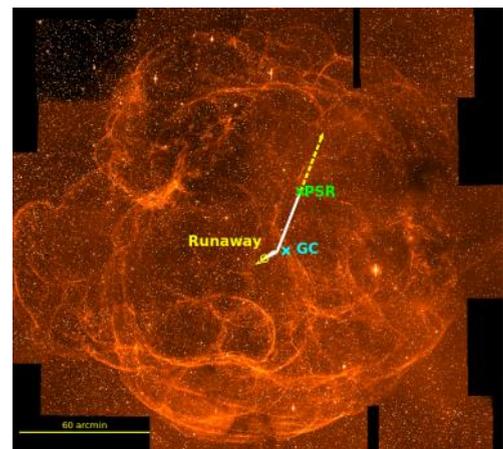


Abb. 4. Supernova-Überrest S 147 mit Runaway-Stern und Pulsar, die beide vor 30000 Jahren nahe dem geometrischen Zentrum (GC) waren; dort explodierte eine Supernova in einem Doppelsternsystem.

Forschungsprojekt 4: Laborastrophysik

Von interstellaren Wolken, protoplanetaren Scheiben und anderen Planetensystemen wird die thermische Emission kalter Staubpartikel im Submillimeter-Wellenlängenbereich beobachtet, aus der man Masse, räumliche Struktur und Entwicklungszustand dieser Objekte ableiten kann. Die erhaltenen komplexen Brechungsindizes gehen in Simulationsrechnungen ein, wie sie innerhalb der DFG-Forschergruppe "Debris Disks in Planetary Systems" durchgeführt werden, an welcher die Laborgruppe des AIU beteiligt ist.

Kirchschlager F., Wolf S., Krivov A.V., Mutschke H, Brunngräber R. (2017): Constraints on the structure of hot exozodiacal dust belts, *Monthly Notices Royal Astronomical Society*, 467, 1614

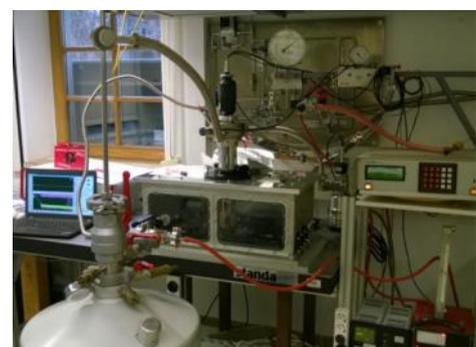


Abb. 5. Messaufbau zur THz-Absorptionsspektroskopie mit Time-Domain THz-Spektrometer und Kryostaten

Professur für Astronomie Prof. Dr. Alexander Krivov

Forschungsschwerpunkte

Der Schwerpunkt der Forschung unserer Arbeitsgruppe liegt auf den vielfältigen (beobachtenden, theoretischen sowie laborbasierten) Untersuchungen von sogenannten Trümmerscheiben. Trümmerscheiben sind Gürtel von Kometen, Asteroiden und ihrem Staub. Sie umgeben Hauptreihensterne wie unsere Sonne und sind eine natürliche Komponente von Planetensystemen – genau wie die Planeten selbst. Trümmerscheiben kommen ungefähr so häufig vor wie mit aktuellen Methoden detektierte Exoplaneten. Sie können die Signaturen noch unentdeckter Planeten tragen und sie sind die sichtbaren Spuren nicht direkt beobachtbarer Planetesimale. Außerdem spiegeln sie die Wachstumsgeschichte der Planetesimale und die dynamische Entwicklung des ganzen Systems wider, einschließlich der Migration und Streuung von Planeten. Deshalb bieten Trümmerscheiben ein großes Potential, Information über Planetensysteme zu gewinnen, zusätzlich zu direkten Studien von Exoplaneten.

Forschungsprojekt 1: Beobachtungen von Trümmerscheiben

Wir setzten unsere Arbeit mit Daten des Weltraumteleskops Herschel fort. Diese stammen aus den Schlüsselprogrammen „DUNES“ (Teilnehmer am AIU: Krivov, Löhne, Mutschke) und „DEBRIS“ (Teilnehmer am AIU: Booth). Das Ziel war es, aus einer Stichprobe von 178 Sternen verlässliche Zahlen für die Häufigkeit von Trümmerscheiben um FGK-Sterne in Sonnennähe zu gewinnen (Montesinos et al. 2016). Für eine Teilstichprobe von 105 Sternen innerhalb von 15 pc lag die gefundene Häufigkeit bei 22^{+8}_{-7} %. Dieser Wert ist für junge und alte Sterne ähnlich. Die Staubleuchtkraft sinkt mit dem Alter der Systeme, wie es aus den Modellen zu erwarten ist.

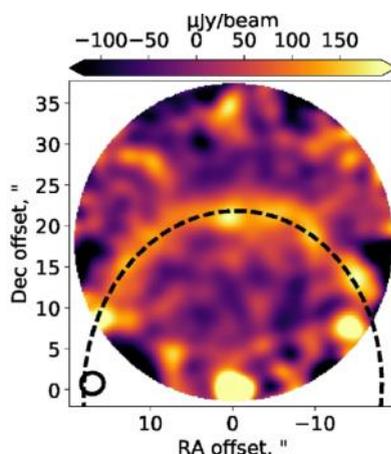


Abb. 1. Der nördliche Bogen der kalten Trümmerscheibe um ϵ Eri, beobachtet mit ALMA. Die gestrichelte Linie markiert eine Entfernung von 70 AE zum Stern, welcher am unteren Bildrand als heller Punkt zu erkennen ist. Quelle: Booth et al. (2017).

Auch neue Beobachtungsdaten wurden mit modernsten Instrumenten in verschiedenen Wellenlängenbereichen gewonnen. Beispielsweise wurde mit der Kamera SCUBA-2 am JCMT-Teleskop auf Hawaii eine neue Durchmusterung („SONS“) bei Sub-mm-Wellenlängen durchgeführt (Holland et al. 2017). Um 49 von 100 beobachteten Sternen wurde eine im Vergleich zur Sternphotosphäre erhöhte thermische Emission registriert. Diese Studie verdoppelt die Anzahl von Detektionen mit Einzelschüsselteleskopen im Sub-mm-Bereich. Die detektierten Scheiben sind 1- bis 10-mal so groß wie der Kuipergürtel und um ein Vielfaches massereicher.

Das prominente Einzelsystem um den nahen K2-Stern ϵ Eri (einer der „fabulous four“) war ebenfalls Ziel unserer Beobachtungen, sowohl im Radio mit ALMA (Booth et al. 2017, s. Abb. 1) als auch im mittleren Infraroten mit dem fliegenden stratosphärischen Observatorium SOFIA (Su et al. 2017). Mit den gewonnenen Daten zeichnet sich ein vollständiges Planetensystem ab, mit einem zuvor entdeckten Radialgeschwindigkeitsplaneten in ca. 3 AE Entfernung vom Stern, mindestens einem Asteroidengürtel bei 10 bis 20 AE, sowie einem Kuipergürtelanalogue bei etwa 70 AE. Zum ersten Mal wurde die Breite des letzteren gemessen (ca. 12 AE). Des Weiteren fanden wir Indizien für mindestens einen weiteren Planeten zwischen den beiden Gürteln.

Montesinos B., Eiroa C., Krivov A.V., et al. (2016): A&A **593**, A51.
Holland W., ... Booth M., ... et al. (2017): MNRAS **470**, 3606.
Booth M., Dent W.R.F., Jordan A. et al. (2017): MNRAS **469**, 3200.
Su K., ... Krivov A.V., Löhne T., ... et al. (2017): AJ **153**, 226.

Forschungsprojekt 2: Kollisionsbasierte Modellierung von Trümmerscheiben

Viele Trümmerscheiben weisen zwei Komponenten auf: kalter Staub analog zu unserem Kuiper-gürtel und warmer Staub näher am Stern, mit bislang unbekannter Herkunft. Eine Möglichkeit, wonach der warme Staub von einem „Asteroidengürtel“ stammt, untersuchten wir mit Langzeitsimulationen der Erosion der Zwei-Komponenten-Scheiben in physikalisch modellierten Kollisionskaskaden. Wir konnten zeigen, dass die inneren Scheiben länger und mehr Staub nachliefern können, als das aus einfacheren analytischen Modellen hervorging. Das vorgeschlagene Szenario kann für die helle Scheibe um q^1 Eri die verfügbaren Daten gut erklären (Schüppler et al. 2016).

Wir haben auch statistisch untersucht, ob dieser warme Staub durch Stöße innerhalb von „Asteroidengürteln“ entstehen könnte, und wie die protoplanetaren Scheiben ausgesehen haben müssen, damit sich aus ihnen die heutigen Trümmerscheiben entwickeln konnten. Nach unseren Ergebnissen kann der warme Staub bei fast allen Systemen (98%; in Abb. 2 grau dargestellt) tatsächlich von „Asteroidengürteln“ stammen, während die restlichen Systeme (2%; rot) andere Szenarien benötigen (Geiler & Krivov 2017).

Darüber hinaus befassten wir uns mit jenen Trümmerscheiben, die von exzentrischen, schmalen Planetesimalgürteln stammen. Ursache für

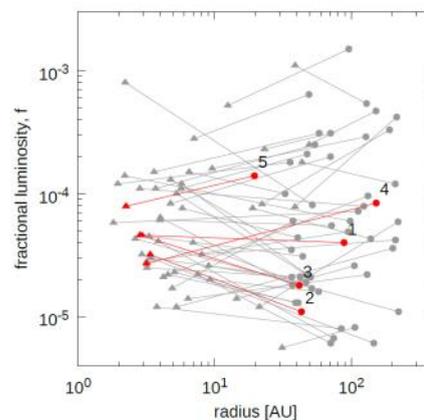


Abb. 2. Radien und Staubhelligkeiten von Scheiben. Warme und kalte Komponenten derselben Systeme sind jeweils verbunden. Quelle: Geiler & Krivov (2017).

deren Gestalt können unentdeckte Planeten sein. Unsere Modelle zeigen, dass das Erscheinungsbild einer solchen Scheibe durch ein Zusammenspiel von Strahlungsdruck, Transportprozessen und Kollisionen viel komplexer ist, als das aus der klassischen Störungstheorie hervorgeht (Löhne et al. 2017). Diese Ergebnisse sollen helfen, die Suche nach den in Scheiben verborgenen Planeten gezielter zu gestalten.

Schüppler C., Krivov A.V., Löhne T. et al. (2016): MNRAS **461**, 2146.
Geiler F., Krivov A.V. (2017): MNRAS **468**, 959.
Löhne T., Krivov A.V., Kirchschrager F. et al. (2017): A&A **605**, A7.

Forschungsprojekt 3: Exozodiakaler Staub

Neue interferometrische Untersuchungen naher Hauptreihensterne offenbaren bei ca. 20% der Systeme einen geringen Überschuss im Nahinfrarot, was als Feinstaub in nächster Nähe zu den Sternen gedeutet wird (die sog. „exozodiakalen Staubwolken“). Es bleibt unklar, woher dieser Staub stammt, und was ihn dort halten kann. Wir modellierten die Infrarotdaten von neun Systemen, um die Eigenschaften dieses heißen Staubes einzuschränken, und fanden, dass die Staubkörner kleiner als $1 \mu\text{m}$ sein und sich innerhalb von ~ 1 AE befinden müssen. Weiterhin stellten wir fest, dass die Staubtemperatur in allen untersuchten Systemen möglicherweise sehr ähnlich

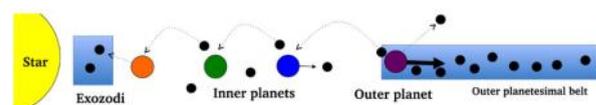


Abb. 3. Ein mögliches Szenario zur Entstehung von Exozodis. Quelle: Kral et al. (2017).

ist (Kirchschrager et al. 2017). Den Kenntnisstand zum immer noch rätselhaften Exozodi-Phänomen, einschließlich verschiedener Szenarien (Abb. 3), haben wir in einem umfassenden Übersichtsartikel präsentiert (Kral et al. 2017).

Kirchschrager F., Wolf S., Krivov A.V. et al. (2017): MNRAS **467**, 1614.
Kral Q., Krivov A.V., Defrere D. et al. (2017): Astron. Rev. **13**, 69.

DFG-Forscherguppe „Trümmerscheiben in Planetensystemen“

Einen großen Teil unserer Arbeit führten wir im Rahmen der DFG-Forscherguppe FOR 2285 („Trümmerscheiben in Planetensystemen“) durch (Sprecher: Prof. Dr. Alexander Krivov, Laufzeit der

ersten Phase: 2015–2019, Gesamtvolumen: ca. 2,2 M€). An diesem Großprojekt nehmen 10 Projektleiter(innen) teil (darunter drei vom AIU). Involviert sind vier Institute zweier Fakultäten an der FSU

Jena, sowie Braunschweig, Hamburg und Kiel. Geforscht wurde außerdem in Zusammenarbeit mit mehreren weiteren Gruppen in Deutschland, anderen EU-Ländern, USA und Australien.

Institut für Angewandte Optik (IAO)



Kommissarischer Institutsdirektor:

Prof. Dr. Andreas Tünnermann

Lehrstuhl für Experimentalphysik/Kohärenzoptik

Prof. Dr. Richard Kowarschik (in Rente)

Lehrstuhl für Superresolution Microscopy

Prof. Dr. Christian Eggeling (ab 01.12.2017)

Adresse: Fröbelstieg 1 (Abbeanum), 07743Jena

Homepage: www.iao.uni-jena.de

Lehrstuhl für Experimentalphysik/Kohärenzoptik Prof. Dr. Richard Kowarschik

Forschungsschwerpunkte

Schwerpunkt 1: Entwicklung schneller Verfahren zur 3D-Formvermessung mittels Projektion von Musterstrukturen (statistische kohärente oder inkohärente Muster, aperiodische Streifen) in stereophotogrammetrischen Systemen und mit Array-Projektoren (Kooperation mit Fraunhofer IOF).

Schwerpunkt 2: Kombination von mikroskopischen Verfahren mit interferometrischen Methoden (Bildinversion) zur Verbesserung von Auflösungsvermögen, Schärfentiefe und Aberrationskorrektur.

Forschungsprojekt 1: 3D-Formvermessung mit statistischen Mustern

Die genaue, kontaktlose 3D-Vermessung von Objekten ist nicht nur für die Produktionskontrolle und pick-and-place Anwendungen von steigendem Interesse, sondern zunehmend auch für medizinische Anwendungen und Aufgaben in der Objektkatalogisierung.

Das Institut für Angewandte Optik beschäftigt sich bis zum Ende des Jahres 2017 im Rahmen des Projektes „Chaspro“ mit der 3D-Objektvermessung durch Speckle-Projektion.

Unter anderem konnte die Genauigkeit des Verfahrens verbessert werden. Ferner wurden verschiedene Erzeugungsvarianten von Speckles erprobt, und die Verarbeitung der Bilder konnte optimiert werden. Die Ergebnisse dieses Projektes wurden in drei Patentanträgen, einem Fachartikel und diversen Konferenzbeiträgen publiziert.

Anfang 2018 wird sich das Projekt UVLAS anschließen, in dem diese Technik in einen anderen Wellenlängenbereich übertragen werden soll.

A.W., Wong, E., Weigel D., Babovsky H., Schott T., Kowarschik R. (2016): "Subjective Speckles suppression in laser based stereophotogrammetry". Opt. Eng., doi: 10.1117/1.OE.55.12.121713.

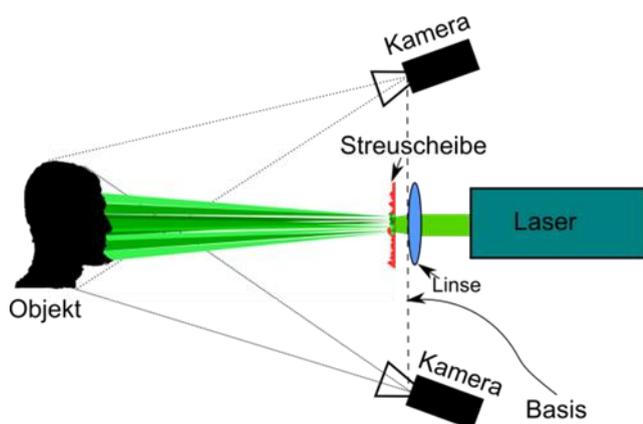


Abb. 1. Schematischer Versuchsaufbau. Zwei Kameras beobachten ein aktiv mit Speckles beleuchtetes Objekt. Die entstehenden Bilder werden zur 3D-Rekonstruktion verwendet.



Abb. 2. Bild der 3D-Rekonstruktion eines mit Speckles beleuchteten Objektes (Greifenstatue).

Forschungsprojekt 2: Weitfeldmikroskopie unter Verwendung eines bildinvertierenden Interferometers

Bei der Weitfeldbildinversionsmikroskopie handelt es sich um ein interferometrisches Verfahren, welches eine stark vergrößerte Schärfentiefe ermöglicht. Zudem ist eine Steigerung des lateralen Auflösungsvermögens um bis zu 30% erreichbar. Durch die Möglichkeit der numerischen Aberrationskorrektur oder der spektral aufgelösten Rekonstruktion von Objektdetails hebt sich diese Technik zudem von anderen Ansätzen ab.

Im Gegensatz zu klassischen Mikroskopen basiert die Bildgebung hier auf der komplexen Kohärenzfunktion. Diese wird mit Hilfe eines bildinvertierenden Interferometers in der Austrittspupille des Mikroskopobjektivs gemessen. Daraus lässt sich die 2D-Projektion einer 3D-Objektstruktur rekonstruieren, was mit einer Erweiterung der Schärfentiefe einher geht. Experimentell konnte bereits eine um einen Faktor 123 vergrößerte Schärfentiefe nachgewiesen werden. Die Optimierung des Versuchsaufbaus und die Ergänzung der theoretischen Beschreibung für Mikroskopobjektive hoher numerischer Apertur sind aktuelle Forschungsanliegen.

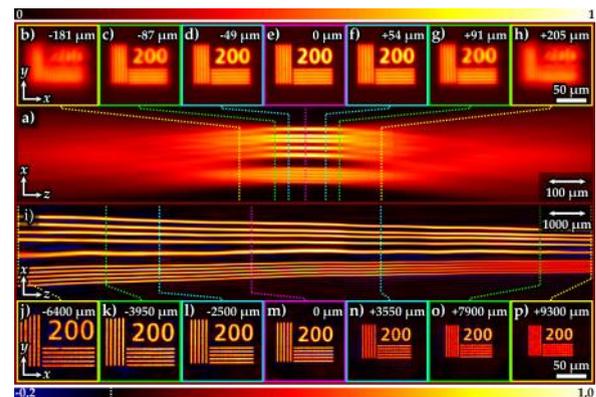


Abb. 3. Abbildung eines Gitters für verschiedene Abstände zur Fokusebene. Aufgenommen mit einem klassischen (a-h) und einem Weitfeldbildinversionsmikroskop (i-p).

D. Weigel, H. Babovsky, A. Kiessling, und R. Kowarschik (2015): Wide-field microscopy with infinite depth of field and enhanced lateral resolution based on an image inverting interferometer. *Optics Communications*, DOI: 10.1016/j.optcom.2014.12.047

D. Weigel, A. Kiessling, und R. Kowarschik (2015): Aberration correction in coherence imaging microscopy using an image inverting interferometer. *Optics Express*, DOI: 10.1364/OE.23.020505

Forschungsprojekt 3: 3D-Formvermessung mit Multiapertur-Array-Projektoren

Im Rahmen der Allianz 3dsensation wird im Projekt "geMAAP3D" in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF) Jena ein 3D-Messverfahren entwickelt, dessen Basis ein Hochgeschwindigkeits-Multiapertur-Arrayprojektor bildet. Dieser erlaubt die Projektion strukturierter Muster (aperiodische Streifen) mit einer Geschwindigkeit von bis zu 3 kHz.

Der Forschungsschwerpunkt liegt dabei vor allem auf der Rekonstruktion dreidimensionaler Objekte mit nur einer Aufnahmekamera, im Unterschied zum üblichen klassischen Stereoverfahren. Für dieses Projektionssystem wurde ein neues Kalibrierverfahren entwickelt und erprobt. Das neuartige 3D-Messsystem ermöglicht einen leichteren und kompakteren Aufbau bei gleichzeitig reduzierten Kosten. Eine entsprechende Patentanmeldung ist erfolgt.

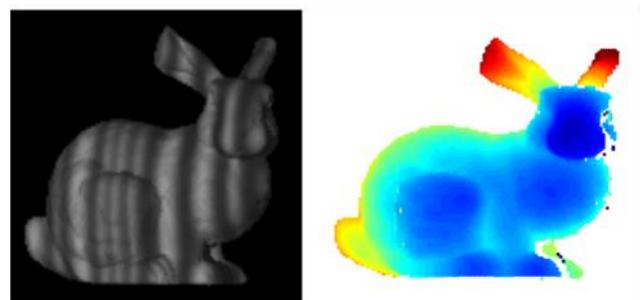


Abb. 4. 3D-Rekonstruktion mit Multiapertur-Array-Projektion (links: Objekt mit Musterstrukturen; rechts: 3D-Rekonstruktion in Falschfarbendarstellung).

Institut für Angewandte Physik (IAP)



Institutsdirektor: Prof. Dr. Andreas Tünnermann

Lehrstuhl für Angewandte Physik

Prof. Dr. Andreas Tünnermann

Lehrstuhl für Theorie optischer Systeme

Prof. Dr. Herbert Gross

Professur für Experimentalphysik/Laserphysik

Prof. Dr. Stefan Nolte

Professur für Angewandte Physik/Nanooptik

Prof. Dr. Thomas Pertsch

Professur für Technische Physik

Prof. Dr. Frank Wyrowski

Professur für Experimentalphysik/Festkörperlaser

Prof. Dr. Jens Limpert

Juniorprofessur für Ultraviolette Dualkammspektroskopie

Jun.-Prof. Dr. Birgitta Bernhardt

Stiftungs juniorprofessur der Carl-Zeiss-Stiftung

Juniorprofessur für Funktionelle Photonische Materialien

Jun.-Prof. Dr. Isabelle Staude (ab Dezember 2017)

Außerplanmäßige Professur für Experimentalphysik/ Mikro- und Nanostrukturtechnik

apl. Prof. Dr. Uwe Zeitner

Adresse: Albert-Einstein-Str. 15, 07745 Jena

Homepage: www.iap.uni-jena.de

Professur für Angewandte Physik Prof. Dr. Andreas Tünnermann

Forschungsschwerpunkte

- Entwicklung der Grundlagen für Faserlaser
- Ultrakurzpuls laserquellen
- Nichtlineare Optik
- Lasermaterialbearbeitung und generative Fertigung
- holistisches Systemdesign
- Mikro- und Nanooptik
- Freiformoptik

Forschungsprojekt MIMAS—Multi-dimensional interferometric amplification of ultrashort laser pulses

In dem im Jahr 2015 an Prof. Tünnermann vergebenem ERC Advanced Grant MIMAS werden die Grundlagen für faserbasierte Laser mit maximalen Impulsspitzenleistungen (PW), maximalen Durchschnittsleistungen im Multi-kW-Bereich bei optimaler Strahlqualität und hohem Wirkungsgrad gelegt.

Dazu werden im Projekt hochleistungsfähige interferometrische Verstärkungsaufbauten in kompakter Form realisiert, die mehrere paralleli-

sierte Verstärkungskanäle in Kernen einer einzelnen Faser - einer Ytterbium-dotierten Mehrkernfaser - enthalten. Zusätzlich soll eine Sequenz von Impulsen mit einem codierten Phasenmuster verstärkt werden, was zu einer kohärenten Impulsstapelung am Systemausgang führt. Die angestrebten Laserpulsparameter übertreffen die aktuelle Lasertechnologie um ein Vielfaches und können somit viele Anwendungen revolutionieren.

Um sicherzustellen, dass diese aufwendigen Entwicklungen größte Marktakzeptanz erreichen, wurden im November 2017 rund 50 Fasertechnologiespezialisten zu einem internationalen Workshop nach Jena eingeladen, um ihre Ansichten zu Perspektiven, Marktbedürfnissen und Anforderungen an Glasfasertechnologien zu koordinieren und die ersten Schritte zu einer strategischen und harmonisierten Roadmap zu entwickeln.

T. Schreiber, A. Tünnermann, A. Thoss, High-power, single-mode fiber lasers advance, Laser Focus World 53 (2017)

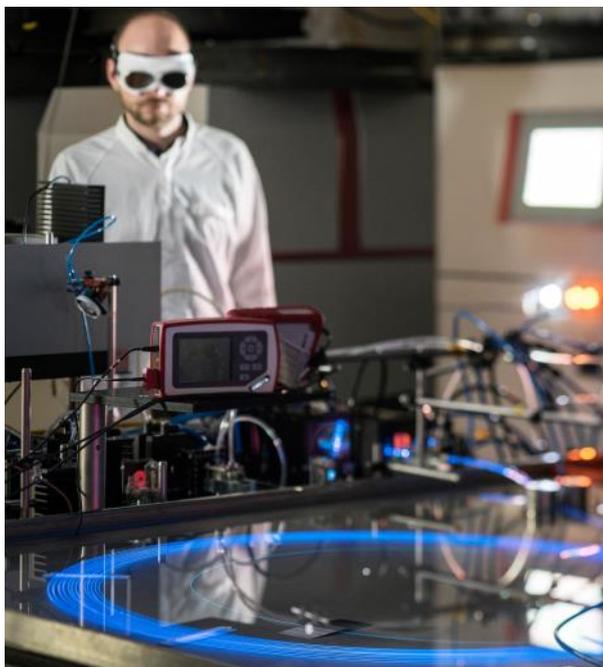


Abb. 1. Demonstration einer 4,3 kW Singlemode-Leistung eines Faserlasers, bei dem die Leistung nur durch die Eingangspumpleistung begrenzt wurde. Foto: Fraunhofer IOF.

Forschungsprojekt 3Dsensation - Die Realisierung einer neuartigen Mensch-Maschine-Interaktion

Bis heute wurde das adressierte Forschungsfeld der Mensch-Maschine-Interaktion nur punktuell erschlossen. 3Dsensation strebt eine ganzheitliche Lösung an, um möglichst vielfältige Synergien zu nutzen und eine schnelle und breit gefächerte Durchsetzung der neuen Technologien in Wirtschaft und Gesellschaft zu erreichen. Dies bedingt eine grundlegende Analyse und Bearbeitung komplexer Szenarien der hieraus erwachsenden transdisziplinären Herausforderungen.

Maschinen werden so zu situativ agierenden Partnern und personalisierten Assistenten des Menschen. Durch diese neue Form der Interaktion schafft 3Dsensation den Zugang zu Lebens- und Arbeitswelten unabhängig von Alter und körperlicher Leistungsfähigkeit. Eine zentrale Herausforderung ist dabei die Echtzeitfähigkeit bei hohen Datenvolumina. Die Systeme müssen in der Lage sein, die Daten ohne wahrnehmbare Verzögerung aufzunehmen, zu verarbeiten und entsprechende Aktionen einzuleiten. Für alle Schritte dieser Prozesskette sind neue technolo-

gische und methodisch/algorithmische Qualitäten erforderlich, vor allem aber die transdisziplinäre Vernetzung der Wissenschaftsfelder Physik/Optik, Mathematik/Informatik, Elektrotechnik/Systemtechnik, Kreativ- und Kognitionswissenschaften. Beteiligt sind aktuell 20 Forschungsinstitute und über 40 Unternehmen, was "Cross Border Synergien", Innovationskraft sowie eine schnelle Marktdurchdringung der neuen Technologien fördert.

Innerhalb dieser Allianz forscht das IAP mit dem Fraunhofer IOF an drei Projekten zusammen: Hyper 3D - Hochdynamische 3D-Sensorik in erweiterten Spektralbereichen, 3D-SWIR - Augensichere 3D-Messtechnik im SWIR und 3Dtransform. Letzteres zielt darauf ab, grundlegende Ergebnisse aus der Quantenoptik, der Nanooptik und der nichtlinearen Optik im Rahmen der optischen Sensorik und Bildgebung zu nutzen, um neue Lösungen für z.B. dreidimensionale und multispektrale Bildgebung, quantenverstärkte Sensorik und nichtlineare volloptische Signalverarbeitung zu finden.

Leistungszentrum Photonik, Jena

Das 2016 eröffnete »Leistungszentrum Photonik« ist eine gemeinsame Initiative des Fraunhofer IOF, der FSU Jena, den Leibniz-Instituten HKI und IPHT sowie dem Helmholtz-Institut Jena.

Die nächste Entwicklungsstufe der Photonik ist durch intelligente Systemlösungen gekennzeichnet. Die zunehmende Verschmelzung mit der Halbleitertechnik führt vor allem zu einer smarten Vernetzung und Systemintegration der Einzelkomponenten und damit zu einem problemlösenden Ganzen. Dazu entwickelt das Zentrum Lösungen mit Licht und fördert deren An-

wendung in Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft, indem es anwendungsorientierte Forschung und Innovationen mit exzellenter Grundlagenforschung verknüpft. Konkret werden optomechanische Systeme für Großforschungsprojekte wie verlustarme Spiegel für die Gravitationswellenastronomie, hochwertige Spektrometer, Instrumente mit Arbeitswellenlängen im Bereich des Wasserfensters oder auch Hochleistungslaser für Teilchenbeschleuniger entwickelt. Weitere Kernthemen sind: Faserlaser und ihre Anwendungen, Hochdynamische optische Sensorik,

Projektions- und Abbildungssysteme der nächsten Generation, optische Instrumentierung vom EUV-MIR in den Bereichen Umwelt und Biologie, Manipulation, Präparation und Konditionierung von organischen und anorganischen Mikro- und Nanopartikeln durch Licht sowie Basistechnologien für optische Instrumentierung.

Die Fraunhofer Graduiertenschule für Angewandte Physik ist dabei ebenso Bestandteil, wie das Fasertechnologiezentrum mit einem der leistungsfähigsten Faserziehtürme der Welt.

Lehrstuhl für Optisches Systemdesign

Prof. Dr. Herbert Gross

Forschungsschwerpunkte

- Methodik im optischen Systemdesign: für die Konzeption, Auslegung und Optimierung optischer Systeme werden Modelle, Algorithmen und Methoden entwickelt, die eine praxisorientierte Möglichkeit schaffen, entsprechende Instrumente zu entwickeln.
- Freiformflächensysteme: symmetriefreie Oberflächen können seit kurzem technologisch beherrschbar gefertigt werden und werden in optischen Systemen eingesetzt, es müssen aber in fast allen Stufen der optischen Systementwicklung diese neuartigen Möglichkeiten durch entsprechende Verallgemeinerungen der Beschreibungen, Simulationsalgorithmen und Qualitätsbewertung erst unterstützt werden.
- Physikalisch-optische Simulationen: viele neuartige optische Systeme basieren auf physikalischen Wirkprinzipien, die man durch die traditionellen Verfahren der Geräteentwicklung nicht erfassen kann. Daher besteht an vielen Stellen die Notwendigkeit, physikalisch basierte Methoden in die Geräteentwicklung und die entsprechenden Modellierungen zu integrieren.

Forschungsprojekt Wachstumskern Freiformoptik plus

In diesem Projekt wurden wesentliche inhaltliche Erweiterungen zur Beschreibung und Behandlung optischer Freiformsysteme zusammen mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie erarbeitet. Die wissenschaftlichen Arbeiten befassten sich mit der effizienten mathematischen Erfassung von symmetriefreien Flächen in optischen Systemen sowohl für die Optimierung als auch für die Bewertung real gefertigter Komponenten (Abb.1). Es wurden die bekannten Beschreibungen in einem Benchmark analysiert und bewertet, ferner wurden neuartige Ansätze entwickelt und erprobt. Speziell ist die Beschreibung, Bewertung und Behandlung realer Flächen ein wichtiger Schritt für die Systementwicklung und die Verknüpfung von Theorie und Technologie. Zudem wurden verschiedene Methoden erarbeitet, die die Erstellung sinnvoller erfolversprechender Startsysteme ermöglicht, was eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung guter Lösungen ist. Durch die stark erweiterte Anzahl von Freiheitsgraden sowie das völlige Fehlen von Erfahrung mit dieser Art von Systemen ist es sehr schwierig, Ansätze zu finden, die nach der Optimierung die gewünschten Eigenschaften haben, eine Spezifikation erfüllen und technologisch realisierbar sind (Abb.2). Dabei spielt die notwendige Anzahl von Freiformflächen, ihre relative Position innerhalb des Systems sowie ihre günstigste Beschreibungsform eine wichtige Rolle.

Da ohne entsprechende Symmetrien die klassischen Annahmen bekannter Bildfehlertheorien nicht mehr erfüllt sind, muss eine neue Theorie entwickelt werden, die voll vektoriell formuliert ist. Sowohl die Gesamtbewertung kompletter Freiformsysteme mit entsprechenden Variationen der Fehlertypen über das Bildfeld als auch die Analyse der Systemstruktur mit einer entsprechenden störungstheoretischen Zerlegung der Fehler in ihre konstituierenden Bestandteile sind wichtige Hilfsmittel, die es im Optikdesign erlauben, die Lösungen zielgerichtet zu verbessern. Zusätzlich zu diesen Designbezogenen Themen wurden im Rahmen des Projektes auch Justage- und Montageprozesse simuliert, um die Umsetzung der theoretischen Leistungsdaten in reale Systeme sicherzustellen. In diesem Sinne wurden auch weitergehende Tools, Algorithmen und Formate zusammen mit den Partnern entwickelt, die eine reibungslose Vernetzung der einzelnen Schritte in der Entwicklungsprozesskette ermöglichen.

- [1] J. Stock, A. Brömel, J. Hartung, D. Ochse, H. Gross, Description and reimplemention of real freeform surfaces, *Appl. Optics* 56 (3), 391-396 (2017)
- [2] M. Oleszko, R. Hambach, H. Gross, Decomposition of the total wave aberration in generalized optical systems, *J. Opt. Soc. Am. A* 34 (9), 1490-1499 (2017)
- [3] A. Broemel, C. Liu, Y. Zhong, H. Gross, Freeform surface descriptions. Part II: Application benchmark, *Adv. Opt. Techn.* 6 (2017)

Forschungsprojekt KoSimO—Holistisches Systemdesign

Ziel in diesem Projekt ist es, die Möglichkeiten der physikalisch-optischen Simulation komplexer Abbildungs- und Beleuchtungssysteme zu erweitern und im Sinne eines virtual prototyping eine ganzheitliche Berechnung von Systemen zu ermöglichen. Damit können Entwicklungszeiten verkürzt und Risiken in einer Geräteentwicklung frühzeitig erkannt werden. Insbesondere sind hier 5 Schwerpunkte der Modellierung und Algorithmenentwicklung adressiert. Zum einen soll eine bessere Verzahnung der geometrisch-optischen und der wellenoptischen Simulation erreicht werden insbesondere auch um die Lücke in den verfügbaren Tools zur Erfassung von Mikrooptiken zu schließen (Abb.3). Außerdem macht es große Probleme, Systeme mit großen Wellenaberrationen physikalisch-optisch zu erfassen. Hier wird im Rahmen des Projektes untersucht und schon erfolgreich demonstriert, dass mit neuartigen Ansätzen entsprechende Problemfälle gelöst werden können. Ferner fehlen leistungsfähige Algorithmen und Modellbildungen, um methodisch Beleuchtungssysteme mit komplexen Fragestellungen zu entwickeln. Hier sind insbesondere moderne Ansätze zur Strahlprofilformung für Laser zu nennen, die mit Freiformflächen, Axicons oder komplexen Maskenkomponenten spezielle Lichtverteilungen erzeugen. Ferner sind in vielen neuartigen Systemen für Hochleistungslaser die Probleme mit nichtlinearen Effekten und thermischen Wechselwirkungen nicht zufriedenstellend gelöst. Zur Kompensation unvermeidbarer Strahldeformationen wurde insbesondere auch auf die Messung solcher Störungen und ihre adaptive Behebung eingegangen. In der Anwendung entsprechender Systeme auf bio-medizinische Problemstellungen besteht ferner die Notwendigkeit, die Lichtwechselwirkung und -ausbreitung in streuendem Gewebe mit den Simulationen des optischen Instruments für Beleuchtung und Beobachtung zu koppeln, um eine ganzheitliche Systembeschreibung zu erhalten. Das Verhalten partiell kohärenter Lichtfelder ist ebenfalls bei Einsatz entsprechender multimodiger Laserstrahlung sehr schwer zu erfassen, hier wurden neue Ansätze und Algorithmen von der Messung der relevanten physikalischen Parameter bis zur theoretischen Berechnung der Strahlpropagation entwickelt (Abb.4).

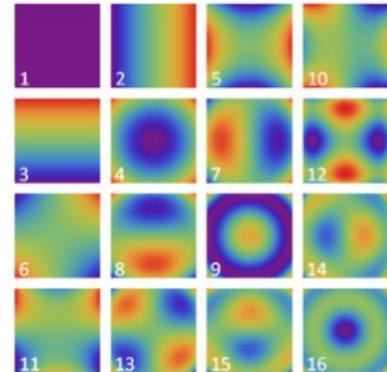


Abb. 1. Neues Polynomsystem zur Freiformflächenoptimierung.

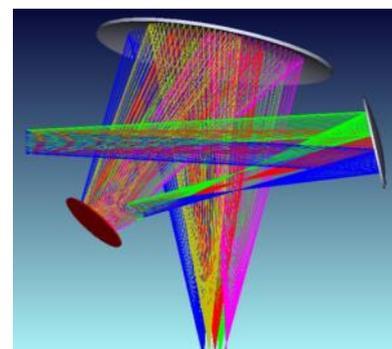


Abb. 2. Abschattungsfreies drei-Spiegelsystem mit Freiformen.

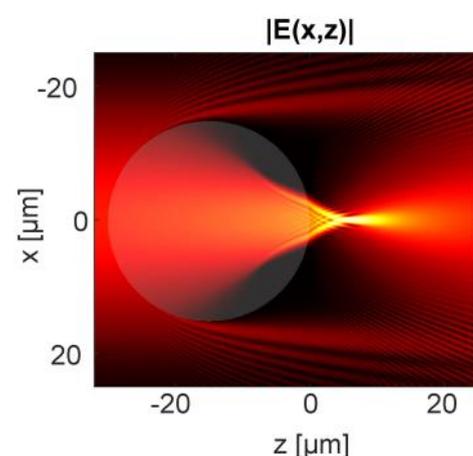


Abb. 3. Beugung einer Welle an einer Mikrolinse.

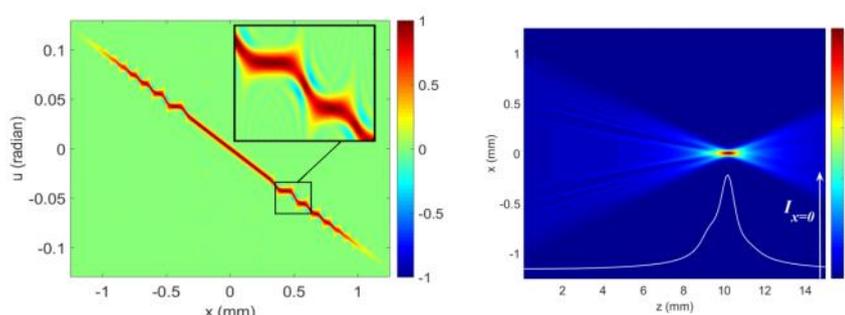


Abb. 4. Beugungseffekte an einer Fresnellinse, Phasenraum (links) und Ortsraum (rechts).

Professur für Experimentalphysik/Laserphysik

Prof. Dr. Stefan Nolte

Forschungsschwerpunkte

- Lineare und nichtlineare Laser-Materie-Wechselwirkung: ein fundamentales Verständnis der Wechselwirkung zwischen ultrakurzen Laserpulsen Festkörpern mit detaillierter Analyse von Propagations- und Absorptionseffekten sowie nachfolgende Relaxationsprozessen
- Mikro- und Nanostrukturierung mit ultrakurzen Laserpulsen: hochpräzise Strukturierung auf der Mikro- bis Nanometerskala mittels ultrakurzer Laserpulse - vom Abtrag bis zur definierten Manipulation von Materialeigenschaften
- Volumenmodifikationen in Gläsern: nichtlineare Absorption im Innern von transparenten Materialien erlaubt die Modifikation der Ausbreitungseigenschaften von Licht, Anwendungsbeispiele umfassen Faser- und Volumen-Bragg-Gitter, Wellenleitersysteme und künstlich doppelbrechende Strukturen
- Spektroskopische Methoden für Gasanalyse: Nichtlineare Spektroskopiemethoden werden zur Analyse von Gasen unter extremen Bedingungen entwickelt

Gasspektroskopie unter Hochdruck-/Hochtemperaturbedingungen

Die effiziente Nutzung fossiler Brennstoffe ist eine zentrale Herausforderung unserer Zeit, wie z.B. die aktuelle Diskussion über den Kohlestrom zeigt, und es besteht die dringende Notwendigkeit, die Effizienz dieser Prozesse zu erhöhen. Sie sind bislang für diagnostische in-situ Techniken schwer zugänglich, da z. B. die technische Vergasung von Kohle unter extremen Umgebungsbedingungen (~ 1400 °C, ~ 40 bar) abläuft. Im Rahmen der vom BMBF geförderten Verbundprojekte HITECOM (FKZ:03Z1H532, 03Z1H533) und Opti-Con (FKZ:03Z1H535) werden am IAP Spektroskopietechniken für diese extreme Umgebungsbedingungen entwickelt. In Zusammenarbeit mit

der TU Bergakademie Freiberg ist ein Hochdruck-/Hochtemperaturofen realisiert worden, der optischen Zugang erlaubt [1].

Ein vielversprechender, spektroskopischer Ansatz zur Charakterisierung ist die kohärente Anti-Stokes-Ramanspektroskopie. Durch Verwendung ultrakurzer Pulsdauern („fs-CARS“) ist es möglich, die Gaszustände abzufragen, bevor störende Molekülstöße stattfinden. Durch Verwendung eines optisch-parametrischen Verstärkers (OPCPA) ist es im HITECOM-Projekt gelungen, mit Hilfe eines ~ 7 fs Pulses die Ramanübergänge sämtlicher bei der Kohlevergasung relevanten Gasspezies anzufragen [2]. Abb. 1 zeigt beispielhaft ein fs-CARS-Spektrum von CO_2 für die Thermometrie [3]. In einem weiteren Schritt wird ein Verfahren entwickelt, das die gleichzeitige Temperatur- und Konzentrationsbestimmung mittels fs-CARS ermöglicht.

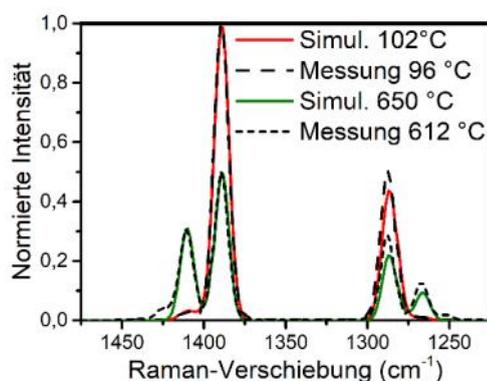


Abb. 1. Thermometrie an CO_2 bei zwei verschiedenen Temperaturen.

- [1] F. Küster, P. Nikrityuk, M. Junghanns, S. Nolte, A. Tünnermann, R. Ackermann, A. Richter, S. Guhl, B. Meyer, In-situ investigation of single particle gasification in a defined gas flow applying TGA with optical measurements, *Fuel* 194, 544 (2017)
- [2] G. Matthäus, S. Demmler, M. Lebugle, F. Küster, J. Limpert, A. Tünnermann, S. Nolte, R. Ackermann, Ultra-broadband two beam CARS using femtosecond laser pulses, *Vibrational Spectroscopy* 85, 128 (2016)
- [3] M. Kerstan, I. Makos, S. Nolte, A. Tünnermann, R. Ackermann, Two-beam femtosecond coherent anti-Stokes Raman scattering for thermometry on CO_2 , *Appl. Phys. Lett.* 110 (2), 021116 (2017)

Additive Fertigung mittels Ultrakurzer Laserimpulse

Die lasergestützte Additive Fertigung (AM) ermöglicht den schichtweisen Aufbau von Bauteilen hochkomplexer Geometrien. Im Rahmen des BMBF-Vorhabens AM-Optics wird der Einsatz ultrakurzer Laserpulse untersucht. Die extrem kurzen Wechselwirkungszeiten zwischen Laserstrahlung und Material ermöglichen eine Bearbeitung im nichtthermischen Gleichgewicht. Dadurch lassen sich einerseits Entmischungsvorgänge von Materialkompositen unterdrücken, zum anderen die lokale Ausdehnung des Schmelzbereiches reduzieren. So können komplexe Bauteile mit optimierten Gefügeeigenschaften aufgebaut werden.

Beispielsweise konnten filigrane Elemente aus einer nicht-eutektischen Aluminiumlegierung (AlSi40) für Optikanwendungen mit deutlich verbessertem Gefüge hergestellt werden (Abb. 2, [4]). Auch aus reinem Kupfer konnten komplexe 3D-Strukturen realisiert werden, die Wandstärken unterhalb 100 μm aufweisen (Abb. 3, [5]).

[4] T. Ullsperger et al., Selective laser melting of hypereutectic AL-Si40-Powder using ultra-short laser pulses, Appl. Phys. A 123, 798 (2017)

[5] L. Kaden et al., Selective laser melting of copper using ultrashort laser pulses, Appl. Phys. A 123, 596 (2017)

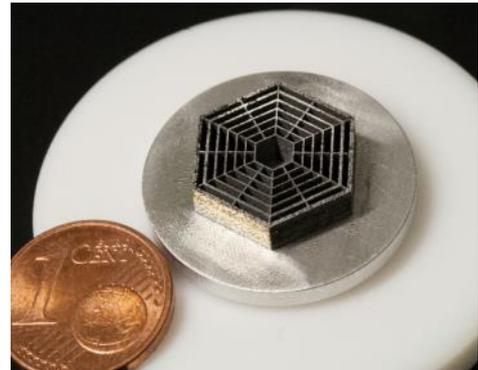


Abb. 2. Additiv gefertigte 3D Struktur aus AlSi40, minimal erzielte Wandstärke < 50 μm .

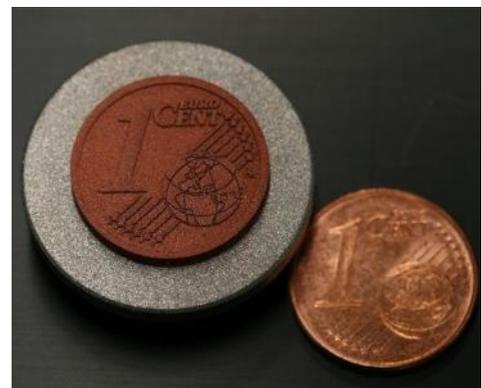


Abb. 3. Additiv gefertigte 3D Struktur aus reinem Kupfer, minimal erzielte Wandstärke < 100 μm .

Zeitaufgelöste Mikroskopie zum optimierten Trennen von Gläsern

Ultrakurze Laserpulse ermöglichen die hochgenaue Bearbeitung aller Materialien. Insbesondere die flexible Innenstrukturierung von Gläsern und Kristallen eröffnet neue Möglichkeiten. Im Rahmen des BMBF-Vorhabens ScJULPT werden neue Verfahren zum schnellen Trennen von Gläsern untersucht. Mit Hilfe von Mikroskopieverfahren mit hoher Zeitauflösung haben wir die lokale Energiedeposition und die folgenden Relaxationsprozesse dreidimensional untersucht (Abb. 4). Dies bildet die Basis für eine räumliche und zeitliche Strahlformung, um Gläser präzise und schnell zu trennen. Anwendungen finden sich z.B. in der Consumerelektronik (Smartphone-/Tablett-Displays).

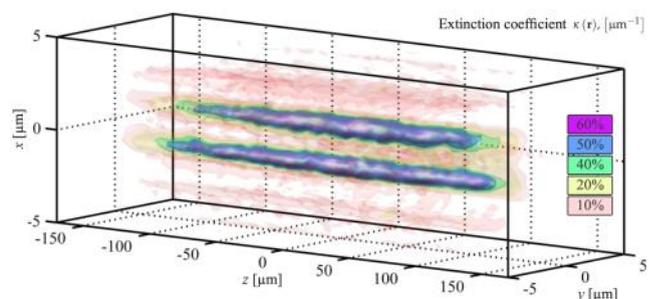


Abb. 4. Tomografisch rekonstruierte Absorptionsverteilung eines ultrakurzen, fokussierten Bessel-Strahles ca. 10ps nach Plasmazündung.

[6] K. Bergner et al., „Time-resolved tomography of ultrafast laser-matter interaction“, Opt. Express, in press

Professur für Angewandte Physik/Nanooptik

Prof. Dr. Thomas Pertsch

Forschungsschwerpunkte

- Ultraschnelle Licht-Materie-Wechselwirkung und quantenoptische Phänomene in mikro- und nanostrukturierter Materie, wie z.B. photonische Nanomaterialien, Metamaterialien, photonische Kristalle und effektive Medien
- Nichtlineare räumlich-zeitliche Dynamik, integrierte Quantenoptik, Plasmonik, Nahfeldoptik, nichtlineare optische Mikroresonatoren hoher Güte, opto-optische Prozesse in integrierten optischen Bauelementen, optische Signalverarbeitung
- Experimentelle Verfahren zur Detektion optischer Nahfelder: optische Rasternahfeldmikroskopie (SNOM) mit mehreren Sonden, Photoemissions-Elektronenmikroskopie (PEEM) mit gepulster Laseranregung
- Anwendungen photonischer Nanomaterialien für multi-funktionelle diffraktive optische Elemente
- Anwendungen optischer Nanostrukturen für die Effizienzsteigerung von photovoltaischen Systemen
- Anwendungen photonischer Konzepte für die astronomische Instrumentierung

Integrierte Quellen für verschränkte Photonennpaare

Photonenpaare mit einstellbaren Eigenschaften sind die Grundlage vieler Anwendungen der Quantenoptik. Diese speziellen Quantenzustände des Lichts können mittels spontaner parametrischer Konversion in Materialien mit einer Nichtlinearität 2. Ordnung erzeugt werden. Dabei zerfällt ein Pumpphoton in ein Paar aus Signal- und Idlerphotonen. Integriert-optische Systeme erlauben eine weitgehende Kontrolle dieser Konversionsprozesse und damit die Erzeugung von auf die spezifischen Anforderungen verschiedener Anwendungen abgestimmter Photonennpaare.

Die Quantenspektroskopie erlaubt durch Ausnutzung von Quanteninterferenzeffekten die Vermessung schwer zugänglicher Spektralbereiche, z.B. des mittleren Infraroten (MIR), mittels Detektion in anderen Spektralbereichen. Dafür werden Photonennpaare mit je einem Photon in jedem der adressierten Spektralbereiche benötigt. Eine entsprechende Quelle konnte in einem Lithiumniobat-Wellenleiter realisiert werden [1]. Dabei war es möglich, Photonennpaare mit einer Signalwellenlänge von ca. 1 μm und einer Idlerwellenlänge im MIR von ca. 2,7 μm zu erzeugen, deren Wellenlängen durch die Pumpwellenlänge kontrolliert werden konnte (siehe Abb. 1). Diese Quelle soll zukünftig als Grundlage für die Reali-

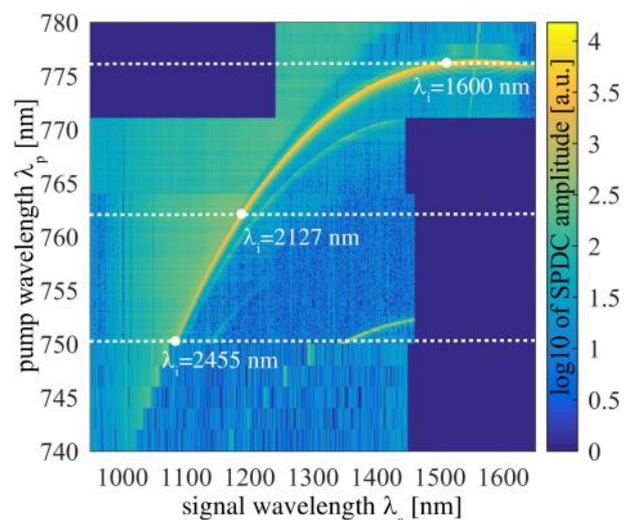


Abb. 1. Spektren der Signalphotonen in Abhängigkeit von der Pumpwellenlänge, die Idlerphotonen im MIR werden durch nicht erfasst.

[1] A. S. Solntsev, P. Kumar, T. Pertsch, A. A. Sukhorukov, and F. Setzpfandt, "LiNbO₃ Waveguides for Integrated Quantum Spectroscopy," submitted to APL Photonics (2017)

[2] S. Saravi, T. Pertsch, and F. Setzpfandt, "Generation of counter-propagating path-entangled photon-pairs in a single periodic waveguide," Phys. Rev. Lett. 118, 183603 (2017)

sierung von auf optischen Chips integrierter Quantenspektroskopie dienen.

Daneben wurden Konzepte entwickelt, um durch eine komplexere Wellenleitergeometrie auch die Kontrolle der räumlichen Eigenschaften erzeugter Photonenpaare zu ermöglichen. Wie in Abb. 2 schematisch dargestellt, erlaubt z.B. eine periodische Strukturierung die simultane Erzeugung von Photonenpaaren, bei denen die Signalphotonen entweder vorwärts oder rückwärts und die Idlerphotonen jeweils entgegengesetzt propagieren. Für spezifische Wellenleitergeometrien können dadurch Photonenpaare erzeugt werden, deren Propagationsrichtungen maximal verschränkt sind [2]. Die Erzeugung derartiger Zustände in Wellenleitern ist eine wichtige Grundlage für die Integration komplexerer quantenoptischer Systeme, die auch die Wechselwirkung mit anderen Quantensystemen und komplexeren Wellenleitergeometrien einbeziehen [3,4].

- [3] S. Saravi, A. N. Poddubny, T. Pertsch, F. Setzpfandt, and A. A. Sukhorukov, "Atom-mediated spontaneous parametric down-conversion in periodic waveguides," *Opt. Lett.* 42, 4724-4727 (2017)
- [4] S. Saravi, R. Quintero-Bermudez, F. Setzpfandt, N. A. Mortensen, and T. Pertsch, "Effect of loss on slow-light-enhanced second harmonic generation in periodic nanostructures," *Opt. Lett.* 41, 3110-3113 (2016)

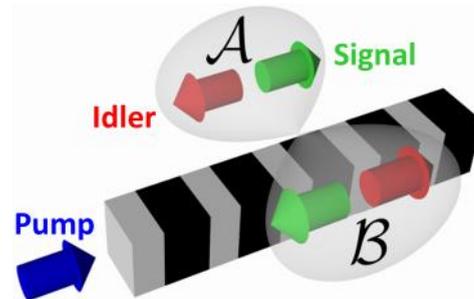


Abb. 2. Schema eines periodischen Wellenleiters zur Erzeugung verschränkter Photonen durch zwei Konversionsprozesse A und B.

Ultraschnelle Prozesse in hybriden photonischen Nanosystemen

Photonische Technologien besitzen ein großes Potenzial, die Übertragung und Verarbeitung großer Datenmengen um ein Vielfaches zu beschleunigen. Während dieser Geschwindigkeitsvorteil photonischer Systeme für die Signalübertragung bereits umfangreich genutzt wird, fehlen für die photonische Signalverarbeitung noch wichtige Schlüsseltechnologien. Insbesondere photonische Nanosysteme können für die Realisierung von ultraschnellen optischen Bauelementen wichtige Lösungen liefern. Im Rahmen von Forschungsarbeiten in einem internationalen Team ist es gelungen, grundlegende Prozesse für solche Bauelemente zu demonstrieren. So konnte gezeigt werden, dass plasmonische Nanoresonatoren die notwendige Bandbreite besitzen, um die räumliche Aufspaltung von Datenströmen hoher Bitrate in verschiedene Ausgangskanäle rein optisch zu bewältigen [5]. Weiterhin konnten Halbleitermaterialien mittels Nanostrukturierung und Hybridisierung mit resonanten plasmonischen Strukturen so modifiziert werden, dass sie eine starke opto-optische Wechselwirkung in kleinsten Volumina ermöglichen und so perspektivisch neben hohen Verarbeitungsgeschwindigkeiten auch eine hohe Integrationsdichte photonischer Schlüsselkomponenten ermöglichen [6,7].

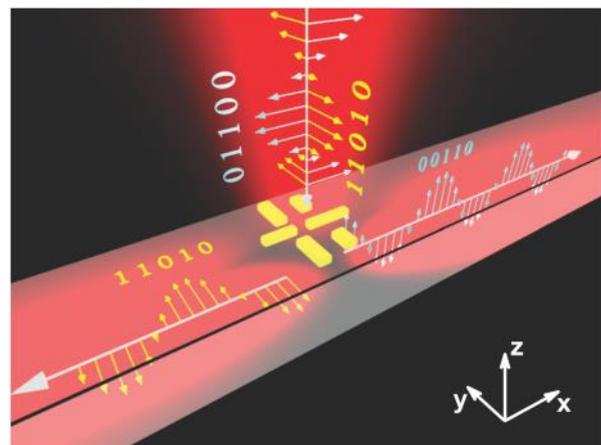


Abb. 3. Schema für die Auftrennung eines polarisationskodierten optischen Datenstroms hoher Bitrate in zwei Richtungen eines dielektrischen Wellenleiters mittels eines plasmonischen Nanorouters.

- [5] R. Guo, M. Decker, F. Setzpfandt, X. Gai, D.-Y. Choi, R. Kiselev, A. Chipouline, I. Staude, T. Pertsch, D. N. Neshev, and Y. S. Kivshar, "High bit-rate ultra-compact light routing with mode-selective on-chip nanoantennas," *Sci. Adv.* 3, e1700007 (2017).
- [6] M. R. Shcherbakov, S. Liu, V. V. Zubyuk, A. Vaskin, P. P. Vabishchevich, G. Keeler, T. Pertsch, T. V. Dolgova, I. Staude, I. Brener, and A. A. Fedyanin, "Ultrafast all-optical tuning of direct-gap semiconductor metasurfaces," *Nat. Comm.* 8, 17 (2017).
- [7] A. S. Shorokhov, K. I. Okhlopov, J. Reinhold, C. Helgert, M. R. Shcherbakov, T. Pertsch, and A. A. Fedyanin, "Ultrafast control of third-order optical nonlinearities in fishnet metamaterials," *Scientific Reports* 6, 28440 (2016).

Professur für Technische Physik

Prof. Dr. Frank Wyrowski

Forschungsschwerpunkte

- Effiziente Fourier Transformationen für die physikalische Optik: Fourier Transformationen sind ein wesentliches Werkzeug in der physikalischen Optik. Wir reduzieren den numerischen Aufwand durch besondere Behandlung der Wellenfronten.
- Nichtsequentielle Kopplung von Maxwell Solvern: Die Lösung der Maxwellgleichungen mit einer universellen Methode, z.B. FEM, ist für makroskopische optische Systeme numerisch nicht praktikabel. Durch die nichtsequentielle Kopplung von schnellen Spezialmethoden kann dieses Problem oft gelöst werden.
- Modellierung von Kristallen: Die Propagation elektromagnetischer Felder durch Kristalle verlangt die Einbeziehung der dielektrischen Funktion als Tensor und die entsprechende Lösung der Maxwellgleichungen.
- Wellenleiter für Virtual und Mixed Reality: Die Zuführung virtueller Bildinformation ins menschliche Auge durch die Kombination von Wellenleiterplatten mit spezifischem Gitterlayout hat große Bedeutung in der Entwicklung von VR und AR Techniken gewonnen. Das optische Design muss auf physikalischer Optik basiert werden.

Geometrische Fourier Transformation

Physikalische Optik beinhaltet die Strahlenoptik als spezielle Untermenge. In der Praxis werden physikalische Optik und Strahlenoptik allerdings getrennt behandelt, insbesondere weil die Strahlenoptik die Feldwerte traditionell nicht einbezieht. Born und Wolf haben allerdings in „Principles of Optics“ eine Erweiterung der geometrischen Optik auf elektromagnetische Felder postuliert und teilweise entwickelt. Wir haben uns die Frage gestellt, welches mathematische Prinzip dem Übergang zwischen dem geometrischen und dem diffraktiven Teilgebiet der physikalischen Optik zu Grunde liegt. Dazu formulieren wir die Maxwellgleichungen in der Fourier-Domäne

und diskutieren mathematische Approximationen der Fourier Transformation. Mittels der Sattelpunktmethode kann eine asymptotische Näherung der Transformation dargestellt werden, welche wir geometrische Fourier Transformation nennen. Sie erlaubt eine rein auf mathematischen Argumenten basierenden Übergang zwischen geometrischen und diffraktiven Methoden der physikalischen Optik. Dabei zeigt sich auch, dass die geometrischen Methoden der physikalischen Optik numerisch so aufwendig wie Ray Tracing sind, aber außer der Beugung alle anderen physikalisch optischen Effekte wie Interferenz, Polarisation und Kohärenz beinhalten.

F. Wyrowski, C. Hellmann, Combining geometrical and physical optics in smart ray tracing, SPIE Newsroom (2016)

F. Wyrowski, C. Hellmann, The geometric Fourier transform, Proc. DGaO (2017)

O. Baladron-Zorita, The role of the Gouy phase anomaly in the unification of the geometric and physical models for the propagation of field, Proc. DGaO (2017)

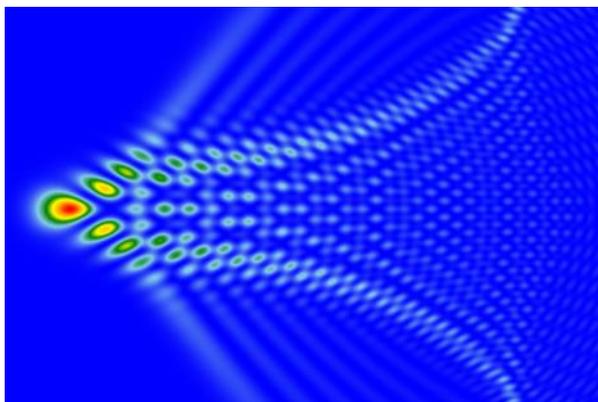


Abb. 1. Simulation der Punktbildfunktion (PSF) für ein Linsensystem mit starken Aberrationen, die durch eine verkippte Linse verursacht wurden. Die Berechnung der PSF erfolgt durch eine neuartige und schnelle Berechnung von Beugungsintegralen.

Kristalloptik

Anisotrope Medien kommen in der Optikmodellierung durch Kristalle aber auch durch stressinduzierte Doppelbrechung vor. Wir haben rigorose Methoden entwickelt, um elektromagnetische Felder durch Kristalle zu propagieren. Dabei sind keine beschränkenden Annahmen über die Kristallachsen nötig. Darüber hinaus haben wir anisotrope Schichtsysteme analysiert, zum Beispiel im Zusammenhang mit Laserkristallen. Die Modellierungstechniken können als Methoden im Field Tracing eingesetzt werden und ermöglichen damit die physikalisch-optische Modellierung von Systemen, die Kristalle und andere anisotrope Komponenten beinhalten. Wir haben diese Methoden für verschiedene Anwendungen eingesetzt, zum Beispiel zur Modellierung der Konversion von Polarisation, der Erzeugung von optischen Phasendislokationen und lokal polarisiertem Licht und in der Magnetooptik.

S. Zhang, D. Asoubar, C. Hellmann, F. Wyrowski, *Appl. Opt.* 55 (3), 529-538 (2016)

S. Zhang, C. Hellmann, F. Wyrowski, *Appl. Opt.* 56 (15), 4566-4576 (2017)

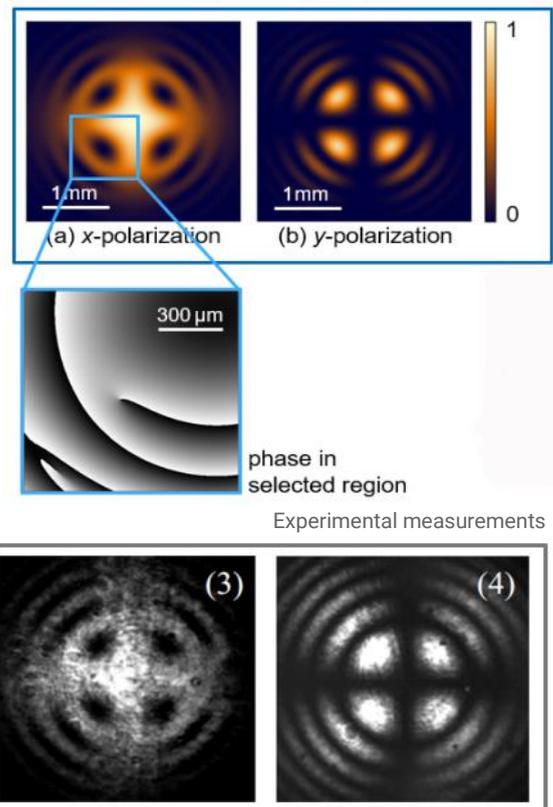


Abb. 2. Simulation der Konvertierung von linear polarisiertem Licht in Kristallen (oben) und Vergleich mit experimentellem Befund aus Izdebskaya et al., *Opt. Express* 17, 18196 (2009).

Mixed und Augmented Reality Glasses

Die Kombination von Wellenleiterplatten, in denen das Licht durch Totalreflexion geführt wird, mit Gittern auf den Stirnflächen, stellt aktuell einen heißen Kandidaten für die Implementierung von Brillen für Mixed und Augmented Reality dar. Darauf wird das Licht einer bildgebenden Einheit in den Wellenleiter eingekoppelt und zu einer virtuellen Austrittspupille gelenkt, wobei eine möglichst große Austrittspupille erreicht werden soll. Durch die Einbeziehung der Gitter muss die Polarisation des Lichtes mitberücksichtigt werden und die Gittereffekte durch eine rigorose Gittersimulation einbezogen werden. Dies führt im Ergebnis zu einer nicht-sequentiellen Kopplung verschiedener Simulationstechniken der physikalischen Optik. Unser Ansatz des Field Tracings hat sich für diese Anwendung als besonders leistungsfähig erwiesen und wurde in der Software VirtualLab Fusion der Firma LightTrans implementiert.

Software Wyrowski VirtualLab Fusion „VR and AR Software Package“, www.lighttrans.com

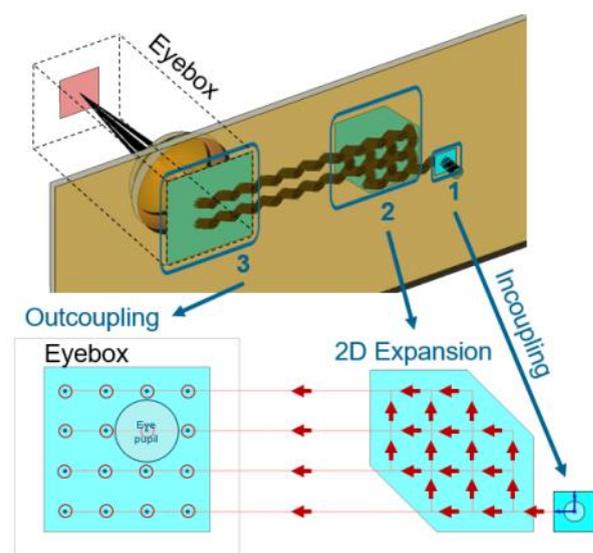


Abb. 3. Typischer Lichtverlauf in einem Wellenleiter für die Anwendung in VR und AR: Das Licht wird über ein Gitter in einen Wellenleiter eingekoppelt und dann über Totalreflexion und weiteren Gittern zum Auge geführt, wo es dann wieder über ein Gitter ausgekoppelt wird.

Professur für Festkörperlaser Prof. Dr. Jens Limpert

Forschungsschwerpunkte

- Faserbasierte Ultrakurzpulslasersysteme höchster Performance
- Neuartige Faserdesigns
- Simulation von komplexen Lasersystemen
- Untersuchung von thermisch induziertem Modentransfer in Hochleistungsfaserlasern
- Kompakte kohärente Quellen im mittleren Infrarot
- Leistungsstarke kurzwellige Strahlung mittels High Harmonic Generation
- Spektroskopie und Mikroskopie mit weichen Röntgenstrahlen
- Faseroptische parametrische Frequenzkonversion

Nachwuchsgruppe Dr. Jan Rothhardt „Spektroskopie und Mikroskopie mit weichen Röntgenstrahlen“

Die Nachwuchsgruppe forscht mit neuartigen Laserquellen im XUV und im weichen Röntgenbereich. Diese Strahlquellen werden in Zusammenarbeit mit der AG Limpert durch Erzeugung hohen Harmonischen mit Femtosekunden-Faserlasern entwickelt und im Labormaßstab realisiert. Die hohe mittlere Ausgangsleistung der Faserlasersysteme ermöglicht außergewöhnlich hohe Photonenflüsse und Pulsfolgefrequenzen, wodurch viele Anwendungen erst möglich werden. Im Fokus der Nachwuchsgruppe stehen einerseits ultraschnelle Spektroskopie an Molekülen und hochgeladenen Ionen, welche gezielt die kurze Pulsdauer und hohe Photonenenergie der erzeugten XUV Pulse nutzt. Andererseits ermöglichen die kurzen Wellenlängen im XUV auch

hochauflösende Bildgebung. Mit modernen abbildungslosen Bildgebungsmethoden wie der kohärenten Beugungsbildgebung, Fourier-Transformations-Holographie und Ptychographie konnten sowohl Rekordauflösungen als auch kürzeste Messzeiten demonstriert werden [1]. Ein Bsp. ist in Abb. 1 dargestellt, hier wurden 13 nm Auflösung an einer Teststruktur demonstriert. Die Methoden liefern sowohl Amplituden als auch Phasenkontrast mit hoher Empfindlichkeit. Darauf aufbauend, sollen in Zukunft dreidimensionale Nanotomographie und Bildgebung realer Halbleiterstrukturen und biologischer Zellen realisiert werden.

[1] G. K. Tadesse, et al., High speed and high resolution table-top nanoscale imaging, Opt. Lett. 41 (22), 5170-5173 (2016)

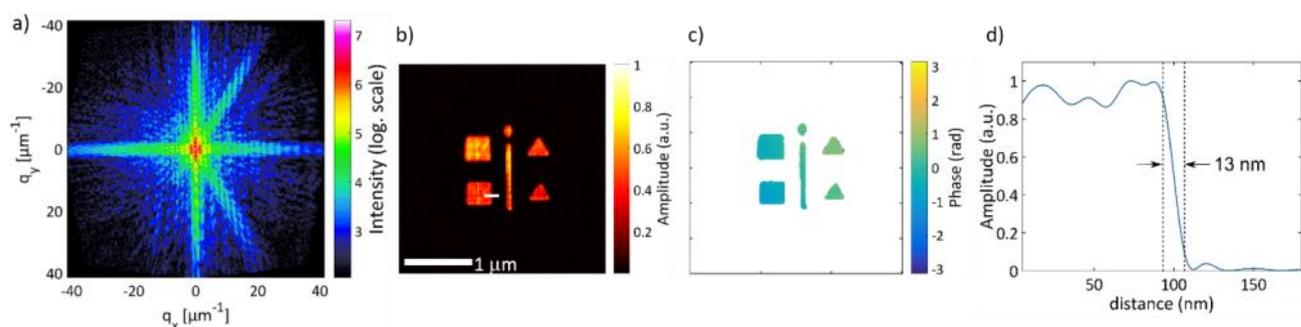


Abb. 1. Kohärente Beugungsmikroskopie bei einer Photonenenergie von 68,6 eV. a) Aufgenommenes Beugungsbild, b) rekonstruierte Amplitude c) rekonstruierte Phase d) Querschnitt einer Kante des Objekts - erreichte Auflösung ~ 13 nm.

Faserbasierte Ultrakurzpuls laser höchster Performance

Ultrakurzpuls laser gelten als „enabling technology“ und sind demnach unersetzliche Werkzeuge für eine Vielzahl von Applikationen in der industriellen Produktion bis hin zur Grundlagenforschung. Neue Laserkenndaten erlauben dabei immer neue Applikationen, so dass die Erforschung von Skalierungskonzepten von Ultrakurzpuls laser ein aktuelles Forschungsthema mit erheblichem Anwendungspotential darstellt. In Jena werden Ytterbium- und Thulium-dotierte faserbasierte Femtosekunden laser mit weltweit einzigartigen Kenndaten im Wellenlängenbereich um ein bzw. zwei Mikrometer entwickelt. Neben fortschrittlichsten Faserdesigns wird die Methode des kohärenten Kombinierens ultrakurzgepulster Laserstrahlung erforscht. Dieser skalierbare Ansatz erlaubt die Realisierung von Femtosekundenpulsen hoher Pulsenergie bei mittleren Leistungen im Kilowatt-Bereich [2]. Basierend auf diesen Ergebnissen erscheint die Erzeugung von visionären Laserkenndaten greifbar, wie sie z. B. für die laserbasierte Teilchenbeschleunigung er-

forderlich sind. Die faserbasierte Kompression dieser Hochleistungspulse hin zu wenigen optischen Zyklen Dauer gelang ebenso, wodurch nun einzigartige Laserquellen für die Grundlagenforschung zur Verfügung stehen [3].

[2] M. Kienel, et al., 12 mJ kW-class ultrafast fiber laser system using multidimensional coherent pulse addition, *Opt. Lett.* 41(14), 3343-3346 (2016)

[3] S. Hädrich, et al., Energetic sub-2-cycle laser with 216 W average power, *Opt. Lett.* 41 (18), 4332-4335 (2016)



Abb. 2. Lasersystem mit 8 kohärent kombinierten Faserverstärkern.

Untersuchung von Modeninstabilitäten in Hochleistungsfaserlasern

Faser laser vereinen ideale Eigenschaften, welche die Erzeugung von Laserstrahlung höchster mittlerer Leistung ermöglichen. Daher ist es nicht verwunderlich, dass Faser laser mit immer neuen Rekordwerten hinsichtlich der emittierten mittleren Leistung bei gleichzeitig bester Strahlqualität aufwarteten. Diese rasante Entwicklung kam vor wenigen Jahren zu einem abrupten Halt als ein neuartiger Effekt beobachtet wurde, welcher schwellenartig eine stabile transversal einmodige Emission in eine chaotische transversal mehrmodige Emission überführt. Dieser Effekt der Modeninstabilitäten, der einerseits die Reputation der Faser laser herausfordert aber andererseits wissenschaftliches Neuland und damit ein enormes Interesse begründet, wurde erstmals in Jena beobachtet, seitdem grundlegend untersucht und weitestgehend verstanden. Diese Arbeiten ermöglichen es nun Konzepte zur Unterdrückung der Instabilitäten zu erarbeiten und eine Steigerung der Laserkenndaten zu erlauben. Einer der vielversprechendsten Ansätze basiert auf der Modulation der

Pumpleistung zum Auswaschen des thermisch induzierten Fasergitters, welches die Ursache des Leistungstransfers zwischen verschiedenen transversalen Moden der Faser ist[4].

[4] C. Jauregui, C. Stihler, A. Tünnermann, J. Limpert, Pump-modulation-induced beam stabilization in high-power fibre laser systems above the mode instability threshold, (submitted)

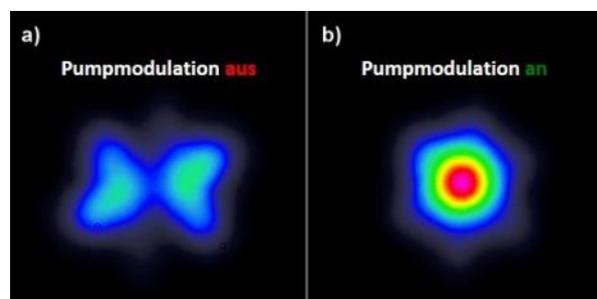


Abb. 3. Strahlprofil bei 407 W mittlere Leistung a) ohne und b) mit Modulation der Pumpleistung.

Carl-Zeiss Juniorprofessur für Ultraviolette Dualkammspektroskopie Jun.-Prof. Dr. Birgitta Bernhardt

Forschungsschwerpunkte

- Weiterentwicklung der Dualkammspektroskopie bis in den extrem-ultravioletten Spektralbereich
- XUV Interferometrie
- Zeitaufgelöste Spektroskopie: Kontrolle der Ionisierungsdynamik in Edelgasen

XUV Dualkammspektroskopie

Nachdem die Erfindung optischer Frequenzkämme die Präzisionsspektroskopie revolutionieren konnte und 2005 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet wurde, erweitern die stabilisierten Kurzpuls laser fortwährend ihre Anwendungsbereiche, von ultrapräzisen optischen Atomuhren über die Kalibrierung astronomischer Spektrographen bis hin zur Molekülspektroskopie. Auch die von Birgitta Bernhardt mitentwickelte Dualkammspektroskopie entpuppt sich als so vielseitig in der Physik, Biologie und Chemie einsetzbar, dass sie mittlerweile in unterschiedlichen Spektralbereichen realisiert wurde. Dabei ermöglicht die Überlagerung zweier Frequenzkämme mit leicht unterschiedlicher Wiederholrate ähnlich wie bei der Fouriertransformationsspektroskopie die Messung extrem breitbandiger Ab-

sorptionsspektren, nur mit millionenfach kürzeren Messdauern und unerreichten relativen spektralen Auflösungen von bis zu 10^{-9} .

Einzig das hochenergetische Extrem-Ultraviolett (XUV) blieb bislang der jungen Spektroskopiemethode mangels geeigneter hochrepetitiver XUV-Laserquellen unzugänglich. Mit Hilfe der in den Gruppen von Jens Limpert und Andreas Tünnermann entwickelten faserbasierten Hochleistungsverstärkern wird seit Februar 2017 am Institut für angewandte Physik die Dualkammspektroskopie bis in den XUV-Bereich (6–100 eV) erweitert. Damit werden zum Beispiel Untersuchungen der Anregungszustände in Atomen und Molekülen mit noch nie dagewesener spektraler Auflösung im μeV -Bereich möglich.

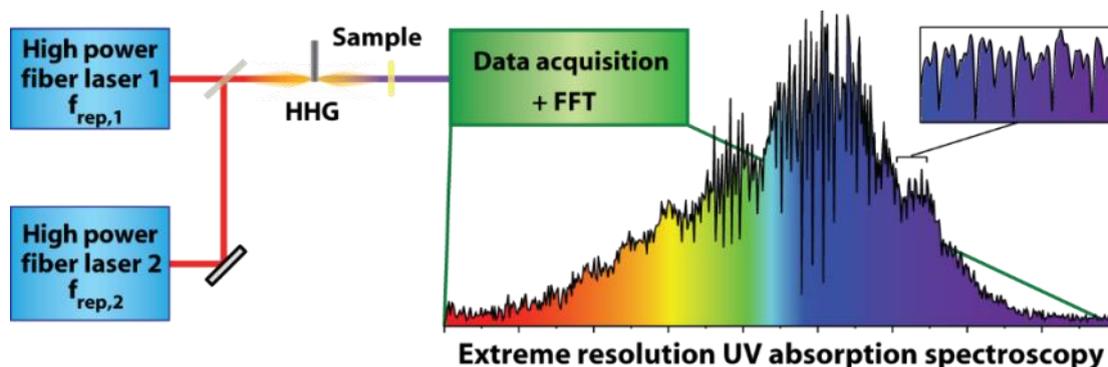


Abb. 1. Schema der Dualkammspektroskopie im Extremen Ultraviolett: Zwei Frequenzkämme werden mittels Hoher-Harmonischen-Erzeugung (HHG) im extrem-ultravioletten Spektralbereich erzeugt und interferometrisch überlagert. Fouriertransformation der zeitabhängigen Interferogramme liefert extrem breitbandige Spektren (>100 THz) mit spektralen Auflösungen bis zu wenigen μeV .

Skizze: Birgitta Bernhardt

XUV Interferometrie, Kollaboration mit Dr. Jan Rothhardt

Ein wesentlicher Bestandteil der XUV Dualkammspektroskopie ist die Interferenz zweier XUV Laserstrahlen. Dabei stellt die Überlagerung der beiden hochenergetischen Strahlen eine technische Herausforderung dar: Die XUV-Strahlung würde bei der Benutzung herkömmlicher Strahlteiler zur Überlagerung größtenteils absorbiert. In Zusammenarbeit mit der Nachwuchsgruppe um Jan Rothhardt wird seit November 2017 im Rahmen eines ACP Explore Projektes die optimale Versuchsanordnung für die XUV Interferometrie erforscht. Dabei werden eigens für die XUV Strahlung beschichtete Membranen von wenigen Nanometern Dicke als Strahlteiler und unterschiedliche Geometrien überlagerter oder parallel stattfindender Harmonischenerzeugung getestet. Die gewonnenen Erkenntnisse zum optimalen Photonenfluss bei der XUV Interferometrie dienen neben der XUV Dualkammspektroskopie auch einer möglichen Erweiterung der kohärenten Beugungsbildgebung um spektrale Informationen.



Abb. 2. Im Rahmen des ACP Explore Projektes „XUV Interferometrie“ testet Vittoria Schuster in Kooperation mit der AG Limpert unterschiedliche Geometrien der Harmonischenerzeugung für einen optimalen Photonenfluss im Extremen Ultraviolett.
Foto: Sven Breitkopf

Zeitaufgelöste Spektroskopie: Kontrolle der Ionisierungsdynamik in Edelgasen

In einer Kollaboration mit der Technischen Universität München und des European XFELs wurden erstmals transiente Absorptionmessungen mit zeitaufgelöster Ionenspektroskopie zur Kontrolle der Ionisierungsdynamik in Edelgasen kombiniert. Dabei wurden in einem Pump-Probe-Experiment mit isolierten Attosekundenpulsen mit einer Zentralenergie von 90 eV Kryptongasatome hoch angeregt und mit zeitverzögerten, wenige Zyklen andauernden Nahinfrarotpulsen weiter ionisiert. Durch Kontrolle der Intensität der NIR-Probenpulse konnten die Dynamik und die Stärke der Ionisierung gezielt beeinflusst werden. Die Kombination der beiden Detektionsmethoden (Absorptions- und Ionenspektroskopie) erlaubt hier zum ersten Mal ein vollständiges Bild der möglichen Abläufe während der Auger-Kaskaden. Unterstützt durch Berechnungen der Gruppe um Stephan Fritzsche, konnten die je nach NIR Intensität unterschiedlich aufscheinenden Zerfallszeiten bestimmten Gruppenniveaus zugeschrieben werden.

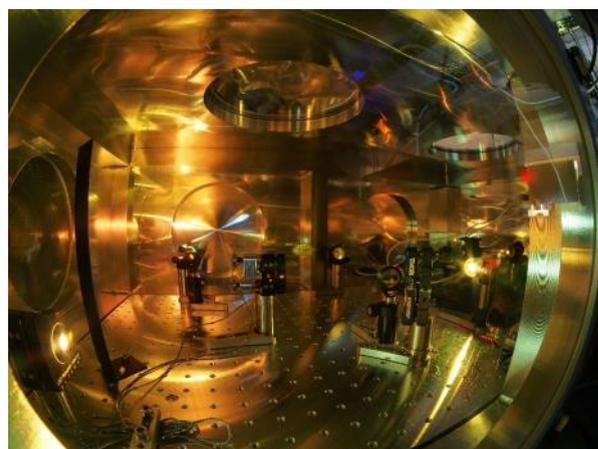


Abb. 3. Blick in die Harmonischenkammer.
Foto: Birgitta Bernhardt

Quelle: K. Hütten, M. Mittermair, S. Stock, R. Beerwerth, V. Shirvanyan, J. Riemensberger, A. Duensing, R. Heider, M. Wagner, A. Guggenmos, S. Fritzsche, N. M. Kabachnik, R. Kienberger, B. Bernhardt, *Ultrafast Quantum Control of Ionization Dynamics*, Nature Communications, Vol. 9, 719 (2018)

Professur für Mikro- und Nanostrukturtechnik apl. Prof. Dr. Uwe D. Zeitner

Forschungsschwerpunkte

- Entwicklung neuer Verfahren für Realisierung optischer Nanostrukturen, basierend auf verschiedenen lithographischen und Raster-Sonden-Techniken, sowie Atomic-Layer Deposition
- Realisierung neuartiger optischer Funktionen auf der Basis von Mikro- und Nanostrukturen, u.a. Hochleistungsgitter für Laser- und Spektroskopieanwendungen, UV-Polarisationsoptiken, röntgenoptische Komponenten etc.
- Funktionalisierung optoelektronischer Komponenten (z.B. Light Trapping auf der Basis von Black-Silicon oder Black-Germanium)

Atomlagenabscheidung für konforme Schichten in der Optik

Atomlagenabscheidung (atomic layer deposition, ALD) ermöglicht eine konforme und präzise Beschichtung von nanostrukturierten Substraten und ist in der Halbleiter-Industrie bereits vielfach im Einsatz. In der Nachwuchsgruppe von Dr. Adriana Szeghalmi, werden ALD-Materialien für die Optik entwickelt, um strukturtreue Schichten für diffraktive und refraktive Optiken einzusetzen und deren Effizienz deutlich zu verbessern.

Außer für hoch- und niedrigbrechende Dielektrika [1,2] konnte ein neuer Prozess zur Herstellung von nanoporösen SiO_2 -Schichten und Schichtsystemen gefunden werden [3]. Die nanoporösen SiO_2 -Schichten wurden durch die Abscheidung von $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2$ -Mischungen realisiert, wobei der Al_2O_3 -Anteil der Dünnschichten anschließend nass-chemisch selektiv entfernt wurde. Das Verhältnis der zwei Oxide erlaubt eine präzise Kontrolle der Porosität und Brechzahl der nanoporösen SiO_2 -Schichten (siehe Abb.1). Wir konnten Einzelschichtentspiegelungen für den UV und sichtbaren Spektralbereich realisieren. In einer zweiten Anwendung wurden nanostrukturierte Beugungsgitter verdeckelt, wobei die nanoporöse SiO_2 -Schicht als Diffusionsschicht für das nachträgliche Herauslösen eines temporär eingesetzten Füllmaterials fungierte.

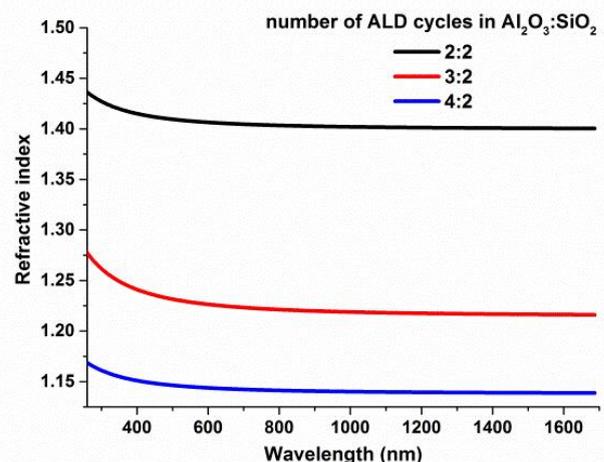


Abb. 1. Brechzahlverlauf der nanoporösen SiO_2 -Schichten verschiedener Mischungsverhältnisse.

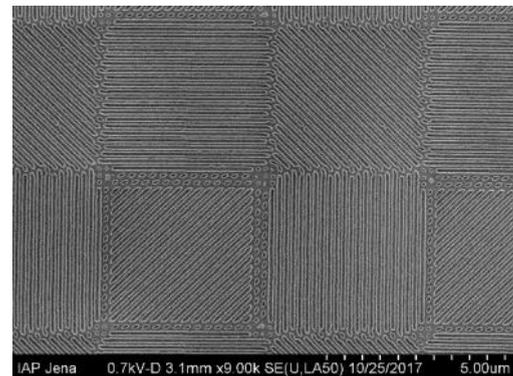
- [1] S. Ratzsch, E. B. Kley, A. Tünnermann, A. Szeghalmi, Influence of the oxygen plasma parameters on the atomic layer deposition of titanium dioxide, *Nano Technology* 26 (2), 024003 (2015)
- [2] K. Pfeiffer, U. Schulz, A. Tünnermann, A. Szeghalmi, Antireflection Coatings for Strongly Curved Glass Lenses by Atomic Layer Deposition, *Coatings* 7 (8), Cover Story (2017)
- [3] L. Ghazaryan, E. B. Kley, A. Tünnermann, A. Szeghalmi, Nanoporous SiO_2 thin films made by atomic layer deposition and atomic etching, *Nano Technology* 27 (25), 255603 (2016)

Nanooptische Polarisatoren für kurze Wellenlängen

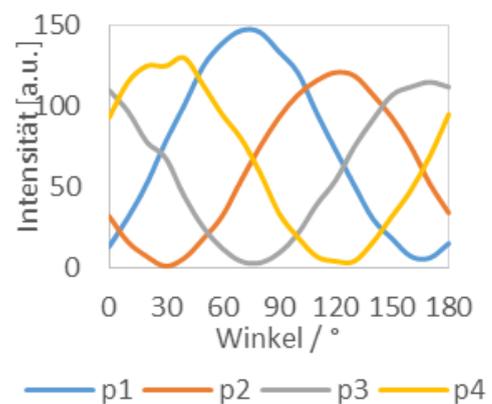
Die Analyse oder Manipulation des Polarisationszustandes ist für viele Anwendungen der optischen Mess- und Verfahrenstechnik sowie im Bereich der Life Sciences erforderlich. Die Einsatzgebiete erstrecken sich von Scatterometrie, Ellipsometrie, Fernerkundung und Lithografie bis hin zur Lab-on-a-Chip Technologie.

Grundlegend lassen sich alle benötigten Polarisationszustände, also lineare, zirkulare und elliptische Polarisation mittels Kombinationen aus Verzögerungsplatten und Linearpolarisatoren erzeugen und analysieren. Dazu haben sich nanooptische Realisierungen dieser Elemente und insbesondere der Polarisatoren (sog. Drahtgitterpolarisatoren) etabliert. Besondere Vorteile sind eine äußerst kompakte Bauform bei gleichzeitig großen freien Aperturen und weitgehender Einfallswinkelunabhängigkeit. Durch die Fortschritte der Mikrosystemtechnik der letzten Jahrzehnte wurde es möglich, die nötigen Subwellenlängenstrukturen auch für den VUV-Bereich (120nm – 200nm Wellenlänge) zu realisieren. Unsere Arbeiten haben gezeigt, dass hierfür ein Wechsel der Materialsysteme erforderlich ist. So konnten im Rahmen eines DFG Projektes (PoEx (GZ. KR 4768/1-1)) in Kooperation mit der Physikalisch Technischen Bundesanstalt sowie der Masaryk Universität in Brno (Tschechische Republik) Elemente aus Titanoxid mit bisher unerreichtem Kontrastverhältnis gezeigt werden [1,2]. In weiteren ausführlichen Untersuchungen wurde eine erhebliche Sensitivität der Extinktionsrate und der Transmission gegenüber der Kantenrauheit festgestellt [3]. Diese und frühere Ergebnisse zu technologischen Einflüssen [4] erlauben eine zukünftige Adaption der Prozesstechnologie und damit weitere Verbesserungen der Performanz. Zusätzlich wurden erste Konzepte für die in-situ Prozessüberwachung [5] und scatterometrische Geometriemessung erarbeitet [6].

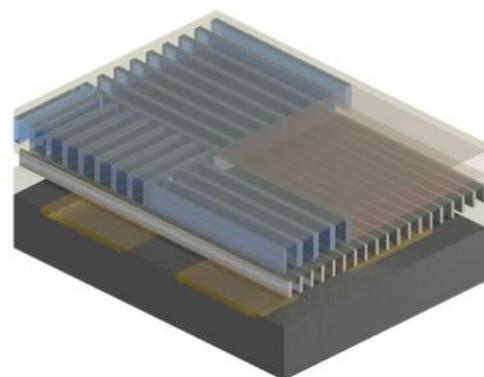
Durch die lithografische Erzeugung der polarisations-optischen Komponenten kann die Ausrichtung auf einem Substrat in einer Pixelanordnung variiert werden. In Verbindung mit einem Kamerachip wurde ein erster Prototyp einer Polarisationskamera realisiert (s. Abb.2). Im weiteren Verlauf des Projektes Center of Excellence in Photonics: Stacked Three Dimensional Polarimeter wird dieses Verfahren genutzt, um ein Polarimeter zur Bestimmung der optischen Aktivität von Flüssigkeiten aufzubauen. Dazu ist eine Kombination aus Retarder und Polarisatoren notwendig. Diese werden in mehreren Ebenen auf einem gemeinsamen Substrat realisiert. Die dazu notwendige Verkapselungstechnologie wurde im BMBF Projekt (NanoInt) erarbeitet.



a)



b)



c)

Abb. 2.

a) Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines pixelierten Polarisationsensorchips, b) gemessene Polarisations-signale einzelner Pixel, c) Konzept eines gestapelten Polarisationsensors mit mehreren Funktionsebenen.

- [1] T. Siefke, et al., Adv. Opt. Mater. 4 (11), 1780-1786 (2016)
 [2] T. Siefke, et al., in Proc. SPIE, 92706 (2016)
 [3] T. Siefke, et al., in Proc. SPIE - Int. Soc. Opt. Eng. (2017)
 [4] T. Siefke, et al., Opt. Lett. 39 (22), 6434-6437 (2014)
 [5] C. Stock, T. Siefke, U. Zeitner, E. Kley, Ilmenau 11 (2017)
 [6] C. B. Rojas, et al., in Proc. SPIE, 10330 (2017)

Institut für Festkörperphysik (IFK)



Institutsdirektor: Prof. Dr. Carsten Ronning

Lehrstuhl für Angewandte Physik/Festkörperphysik

Prof. Dr. Torsten Fritz

Lehrstuhl für Experimentalphysik/Festkörperphysik

Prof. Dr. Carsten Ronning

Professur für Tieftemperaturphysik

Prof. Dr. Paul Seidel

Außerplanmäßige Professur für dünne Schichten

apl. Prof. Dr. Frank Schmidl

Außerplanmäßige Professur für Ionenstrahlphysik

apl. Prof. Dr. Elke Wandler

Adresse: Helmholtzweg 3 und 5, 07743 Jena

Homepage: www.ifk.uni-jena.de

Lehrstuhl für Angewandte Physik / Festkörperphysik

Prof. Dr. Torsten Fritz

Forschungsschwerpunkte

- Struktur-Eigenschafts-Beziehungen in organischen epitaktischen Adsorbatschichten: Organische Dünnschichten mit Schichtdicken im Monolagenbereich weisen eine ausgeprägte Abhängigkeit ihrer optischen und elektronischen Eigenschaften von der Schichtstruktur auf. Das Hauptziel unserer Forschung ist die Entwicklung von Grundlagen für den Einsatz von organischen Nanomaterialien in zukünftigen Geräten.
- Organische Supraleiter: Eine recht neue Klasse von organischen Supraleitern stellen K-dotierte polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe da, die von uns umfassend untersucht werden
- 2D-Materialien: Epitaktisches Graphen, hexagonales Bornitrid (h-BN), Übergangsmetaldichalcogenide
- Optische *in situ* Spektroskopie: Die von uns angewandte Differentielle Reflexionsspektroskopie (DRS) erlaubt es uns, die Lichtabsorptionseigenschaften von Dünnschichten (Empfindlichkeit besser als 0,1 ML, also effektiv 0,03 nm) und Grenzflächen genau zu bestimmen.

Forschungsprojekt 1: K-Interkalation von PTCDA auf Ag(111)

Alkalimetallatome werden häufig zur einfachen aber effizienten *n*-Dotierung von organischen Halbleitern verwendet. Der Einbau von Dotierstoff-

fen aus der Gasphase in molekulare Kristallstrukturen muss jedoch kontrolliert und gut verstanden werden, um die elektronischen Eigenschaften (Ladungsträgerdichte und Mobilität) des Targetmaterials zu optimieren.

Die Kaliuminterkalation in 3,4,9,10-Perylen-tetracarbonsäuredianhydrid (PTCDA) - Monolagendomanen auf einem Ag(111) - Substrat induziert unterschiedliche stöchiometrieabhängige strukturelle Umordnungsprozesse, die zu hochgeordneten und großen K_x PTCDA-Domanen führen. Die entstehenden Strukturen haben wir durch Tieftemperatur-Rastertunnel[Wasserstoff]mikroskopie (ST[H]M) und niederenergetische Elektronenbeugung (LEED) als Funktion der Stöchiometrie genau analysiert. Die Messergebnisse werden durch Berechnungen und Simulationen mittels Dichtefunktionaltheorie bestätigt. Die K-Atome adsorbieren in der Nähe der Sauerstoffatome der PTCDA-Moleküle, und ihre Positionen konnten mit Sub-Ångström-Genauigkeit bestimmt werden.

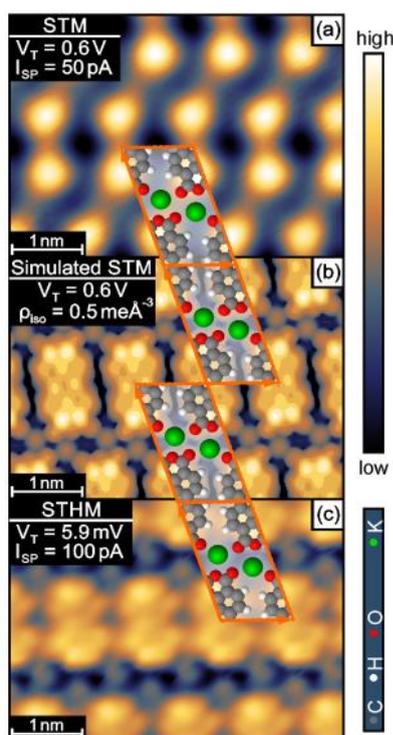


Abb. 1. Vergleich von experimentellen STM- und STHM-Bildern (a, c) mit einem simulierten STM-Bild (b) der K_2 PTCDA-Phase. Nur im STHM sind die K-Atome als kleine einzelne Punkte sichtbar. Aus [1].

[1] C. Zwick, A. Baby, M. Gruenewald, E. Verwüster, O. T. Hofmann, R. Forker, G. Fratesi, G. P. Brivio, E. Zojer und T. Fritz: Complex Stoichiometry-Dependent Reordering of 3,4,9,10-Perylenetetracarboxylic Dianhydride on Ag(111) upon K Intercalation. ACS Nano 10, 2365–2374 (2016), DOI: [10.1021/acsnano.5b07145](https://doi.org/10.1021/acsnano.5b07145).

[2] A. Baby, M. Gruenewald, C. Zwick, F. Otto, R. Forker, G. v. Straaten, M. Franke, B. Stadtmüller, C. Kumpf, G. P. Brivio, G. Fratesi, T. Fritz und E. Zojer: Fully Atomistic Understanding of the Electronic and Optical Properties of a Prototypical Doped Charge-Transfer Interface. ACS Nano 11, 10495–10508 (2017), DOI: [10.1021/acsnano.7b05828](https://doi.org/10.1021/acsnano.7b05828).

Forschungsprojekt 2: Stehende Dichtewellen in flexiblen 2D-Kristallen aus organischen Molekülen

Die Epitaxie vieler organischer Filme auf anorganischen Substraten kann im Rahmen der starren Gitterepitaxie verstanden werden. Jedoch gibt es auch Fälle, wo dieses Konzept versagt, und winzige Verschiebungen in den molekularen Positionen weg von idealen Gitterpunkten, sogenannte stehende Dichtewellen (*static distortion waves*, SDWs), für die beobachtete Orientierungsepitaxie verantwortlich sind.

Mithilfe von niederenergetischer Elektronenbeugung und Rastertunnelmikroskopie konnten wir direkt SDWs in organischen Adsorbatschichten (Hexa-peri-hexabenzocoronene auf Graphit) nachweisen. Sie manifestieren sich als wellenartige Sub-Ångström-Molekülverschiebungen (im Mittel nur $0,5 \text{ \AA}$) weg von einem idealen Adsorbattgitter.

Anhand eines auf Dichtefunktionaltheorie basierenden Modells zeigen wir, dass durch die Flexibilität der Adsorbatschicht die Molekül-Substrat-Energie durch Verspannung der intermolekularen Bindungen gewonnen wird und dass die resultierende Gesamtenergie für die experi-

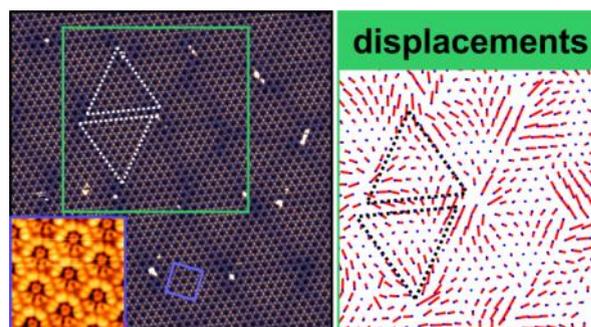


Abb. 2. Links: STM-Bild der stehenden Dichtewellen (SDW) für eine Monolage des organischen Moleküls HBC auf einem Graphiteinkristall. Der Inset zeigt die submolekulare Struktur der Schicht. Rechts: Extrahierte molekulare Verschiebungen, um den Faktor 15 überhöht dargestellt. Aus [3]

mentell beobachtete Domänenorientierung tatsächlich minimal ist.

[3] M. Meissner, F. Sojka, L. Matthes, F. Bechstedt, X. Feng, K. Müllen, S. C. B. Mannsfeld, R. Forker und T. Fritz: Flexible 2D Crystals of Polycyclic Aromatics Stabilized by Static Distortion Waves. ACS Nano 10, 6474–6483 (2016), DOI: [10.1021/acs.nano.6b00935](https://doi.org/10.1021/acs.nano.6b00935).

Forschungsprojekt 3: Orbitaltomographie an organischen Molekülschichten

Für eine Reihe hochgeordneter organischer Adsorbate auf kristallinen Oberflächen wurde bereits gezeigt, dass die winkelabhängigen Photoelektronenverteilungen von molekularen Zuständen, auch bezeichnet als Photoelektronen-Impuls-Karten (*photoelectron momentum maps*, PMMs), im Wesentlichen durch eine Fourier-Transformation der Molekülorbitale, berechnet für das freie Molekül, beschrieben werden können.

Mithilfe dieser Methode konnten wir kürzlich den Inhalt der bimolekularen Einheitszelle des Moleküls Picen auf Ag(100) aufklären [4] und am Beispiel von Coronen auf Ag(111) zeigen, dass sowohl Substratzustände als auch intermolekulare Wechselwirkungen einen Einfluss auf die gemessenen PMMs haben [5].

[4] T. Huempfer, M. Hafermann, C. Udhardt, F. Otto, R. Forker und T. Fritz: Insight into the unit cell: Structure of picene thin films on Ag(100) revealed with complementary methods. J. Chem. Phys. 145, 174706 (2016), DOI: [10.1063/1.4966200](https://doi.org/10.1063/1.4966200).

[5] C. Udhardt, F. Otto, C. Kern, D. Lüftner, T. Huempfer, T. Kirchhübel, F. Sojka, M. Meissner, B. Schröter, R. Forker, P. Puschnig und T. Fritz: Influence of Film and Substrate Structure on Photoelectron Momentum Maps of Coronene Thin Films on Ag(111). J. Phys. Chem. C 121, 12285–12293 (2017), DOI: [10.1021/acs.jpcc.7b03500](https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.7b03500).

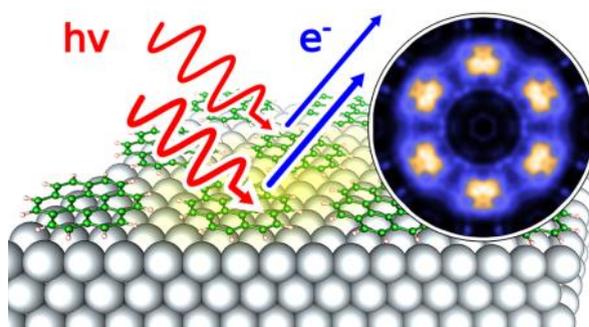


Abb. 3. Prinzip der Orbitaltomographie am Beispiel einer Lage Coronen auf Ag(111). Die Schicht wird mit Photonen der Energie 21.22 eV angeregt. Die Winkelverteilung der herausgelösten Photoelektronen wird energiedispersiv gemessen. Im Rahmen der ebenen-Wellen-Näherung entspricht das erhaltene Bild der Fouriertransformierten der entsprechenden molekularen Elektronenzustände.

Lehrstuhl für experimentelle Physik / Festkörperphysik

Prof. Dr. Carsten Ronning

Forschungsschwerpunkte

- **Halbleiternanodrähte:** Synthese durch chemische Gasphasenabscheidung (VLS-Mechanismus), Funktionalisierung durch Ionenimplantation, Lasing-Eigenschaften einzelner Nanodrähte sowie deren Dynamiken und Ausstrahlcharakteristiken
- **Photovoltaik:** Umfassende Charakterisierung von Solarzellen, insbesondere mit Synchrotron- und Elektronstrahl-basierten Methoden zur Strukturaufklärung, Dünnschichtsolarzellen basierend auf Cu(In,Ga)(Se,S)- und Kersterit-Absorbern
- **Ionen-Festkörper-Wechselwirkungen:** Ionenstrahlsynthese und -modifikation von Materialien, Nanostruktur-Effekte, Monte-Carlo-Simulationen
- **Metaoberflächen:** Synthese durch maskierte Ionenbestrahlung oder einem fokussierten Ionenstrahl, Phasenwechsel- und Phasenübergangs-Materialien, Silizium

DFG-Forschergruppe 1616: Dynamics and Interactions of Semiconductor Nanowires for Optoelectronics

In der Forschergruppe arbeiten Wissenschaftler aus ganz Deutschland daran, lichtleitende Drähte aus Halbleitermaterialien herzustellen und deren Eigenschaften zu untersuchen – winzige Drähte mit nur etwa zehn bis fünfhundert Nanometern Durchmesser. So dünn, dass die Wellenlängen des sichtbaren Lichts optimal in sie ‚hineinpassen‘. Perfekte Lichtleiter also. Drei weitere Eigenschaften machen die Drähte darüber hinaus bemerkenswert: sie sind ein »aktives Medium«, das Photonen aussenden kann, sie lassen sich durch Energie anregen und reflektieren an ihren Enden das Licht, wodurch sie als »Resonator« wirken – durch diese Eigenschaften werden sie zu winzig kleinen Lasern.

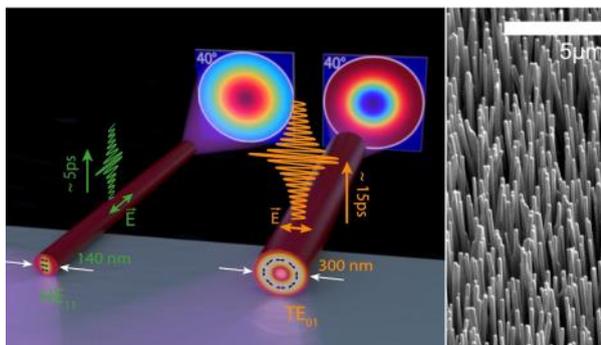


Abb. 1: (links) Dynamiken von zwei ZnO-Nanodrahtlasern mit unterschiedlichen Durchmessern. (rechts) SEM-Aufnahme eines Nanodrahtensembles.

Um die Drähte herzustellen nutzen die Forscher ein etabliertes Verfahren: Sie bringen feine Partikel – meist Goldnanopartikel – auf ein Substrat auf und bedampfen die Oberfläche dann mit den Substanzen, aus denen die Drähte entstehen sollen: Galliumnitrit, Zinkoxid oder Galliumarsenid. An den Nanopartikeln lagern sich diese an und die winzigen Drähte wachsen in die Höhe.

Um das volle Potential der kleinen Laser auszuschöpfen, ist es besonders wichtig, herauszufinden, in welcher Weise und wie schnell diese Licht ausstrahlen. Beides ist nun gelungen, wie die Abbildung 1 schematisch demonstriert: bei sehr dünnen Drähten wird das Licht gaußförmig abgestrahlt, wobei die HE₁₁-Mode innerhalb des Drahtes dominant ist. Dies führt auch zu schnellen Emissionen im Bereich von wenigen ps. Sind die Drähte jedoch dicker, verändert sich dies ganz erheblich: Dann strahlen die Drähte an den Rändern stärker und in ihrer Mitte weniger, und sind auch deutlich langsamer.

R. Röder, et al. „Mode switching and filtering in nanowire lasers“, [Nano Letters 16, 2878 \(2016\)](#)

M. Zapf, et al. „Dynamical Tuning of Nanowire Lasing Spectra“, [Nano Letters 17, 6637 \(2017\)](#)

T.P.H. Sidiropoulos, et al. „Ultrafast plasmonic nanowire lasers near the surface plasmon frequency“, [Nature Physics 10, 870 \(2014\)](#)

CIGS-Depositionsgeschwindigkeit und K-Einbau (speedCIGS)

Im Rahmen des Projektes sollen robuste, vor allem wettbewerbsfähige und effizientere CIGS-Herstellungprozesse entwickelt werden. Es besteht eine besondere Aufgabe in diesem Projektvorhaben, die Erhöhung der Depositionsgeschwindigkeit, die möglicherweise mit einer Erniedrigung des Wirkungsgrades einhergeht, mit der Optimierung der Alkali-Dotierung so zu kompensieren, dass ein für die Industrie optimales Prozessfenster entsteht.

Der Beitrag der AG Ronning liegt in der umfassenden und grundlegenden Charakterisierung von CIGS-Laborzellen und Teilschichten mit Synchrotron- und Elektronstrahl-basierten Methoden. Weiterhin wird die Dotierung von Teilschichten durch (Niederenergie-) Ionenimplantation untersucht. Diese Arbeiten haben das Ziel, ein tieferes Verständnis der Diffusions- und Wachstumsprozesse unter diesen speziellen Prozessbedingungen zu erreichen.

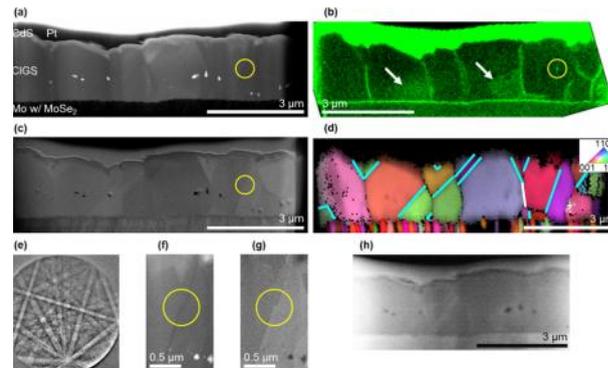


Abb. 2. Kombinatorische Synchrotron- und Elektronstrahl-Untersuchung einer CIGS-Solarzelle, die mit Rb nachbehandelt worden ist.

P. Schöppe, et al. „Improved Ga grading of sequentially produced Cu (In,Ga)Se₂ solar cells studied by high resolution X-ray fluorescence“, *Appl. Phys. Lett.* **106**, 013909 (2015).

P. Schöppe, et al. „Rubidium segregation at random grain boundaries in Cu(In,Ga)Se₂ absorbers“, *Nano Energy* **42**, 307 (2017).

Dr. C. S. Schnorr, „Complex semiconductors: From atomic-scale structure to band gap bowing“, Habilitationsschrift (2016).

Ionenbestrahlung von Phasenwechselmaterialien für Metaoberflächen

Metaoberflächen sind künstlich strukturierte und optische dünne Schichten, die präzise konstruiert werden können, um die Amplitude, Polarisation oder Phase von Lichtstrahlen zu manipulieren. Metaoberflächen ermöglichen somit flache Optiken und werden die Photonik revolutionieren, da konventionelle Lithographie und Abscheidungsverfahren zur Herstellung von komplexen optischen Bauelementen eingesetzt werden können.

In diesem Projekt werden wir Metaoberflächen für einen breiten und abstimmbaren Spektralbereich realisieren, in dem wir entweder durch Masken selektiv dotieren bzw. Defekte einbringen oder wir nutzen einen fokussierten Ionenstrahl und können die Metaoberflächen „direkt schreiben“. Am Ende des Projektes werden wir uns einer Vision in der Optik widmen und dreidimensionale optische Systeme schichtweise aufbauen, da die selektive Ionenbestrahlung inhärent flache Oberflächen ermöglicht.

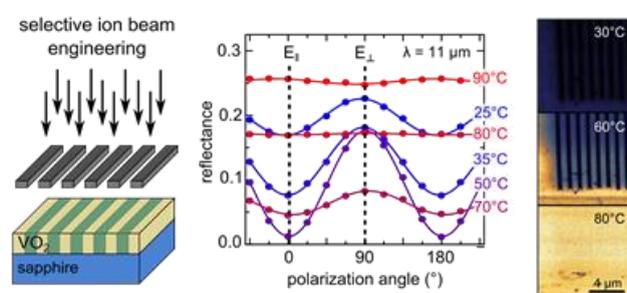


Abb. 3. (a) Maskierte Bestrahlung von VO₂ mit energetischen Ionen. (b) Winkelabhängige Reflexion der bestrahlten VO₂-Probe als Funktion der Temperatur. (c) Entsprechende optische Nahfeld Aufnahmen.

J. Rensberg, et al. „Active optical metasurfaces based on defect-engineered phase-transition materials“, *Nano Letters* **16**, 1050 (2016).

J. Salman, et al. „Flat optical and plasmonic devices using area-selective ion-beam doping of silicon“, *Advanced Optical Materials* (2018), accepted.

Professur für Angewandte Physik / Tieftemperaturphysik Prof. Dr. Paul Seidel

Forschungsschwerpunkte

- Materialien für zukünftige Gravitationswellendetektoren: Untersuchung von relevanten Parametern bei tiefen Temperaturen (Wärmeleitung, mechanischer Verlust, optische Eigenschaften), Modellierung der Wechselwirkung von Licht mit Materie bei Präzisionsmessungen
- Kryostromkomparator: Aufbau und Optimierung hochempfindlicher Messsysteme zur zerstörungsfreien Strahlstromanalyse, Entwicklung unterschiedlicher Auslesekreise zur Optimierung der Empfindlichkeit, systematische Analyse magnetischer Eigenschaften von Ringkernmaterialien
- Untersuchungen und theoretische Modellierung kryoelektronischer Bauelemente: Modellierung von Josephsonkontakten und darauf basierenden Schaltungen (Einfluss externer Mikrowellen, intrinsische Josephsoneffekte, Josephsonoszillatoren); Untersuchungen zum kohärenten Quantentransport in supraleitenden Nanostrukturen
- kryotechnische Anwendungen: Entwicklung von Kryostaten für Spezialanwendungen, Materialuntersuchungen bei tiefen Temperaturen, Unterstützung bei der Entwicklung von Experimenten bei tiefen Temperaturen
- neue supraleitende Materialien: Charakterisierung supraleitender Parameter neuartiger Materialien

Materialien für zukünftige Gravitationswellendetektoren

Der direkte Nachweis von Gravitationswellen im Jahr 2015 ist einer der großen Meilensteine der Grundlagenforschung und eröffnete das Feld der Gravitationswellenastronomie. Die AG Tieftemperaturphysik beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der Erforschung neuartiger, rauscharmer Materialien, mit deren Hilfe man aktuelle Gravitationswellendetektoren noch empfindlicher

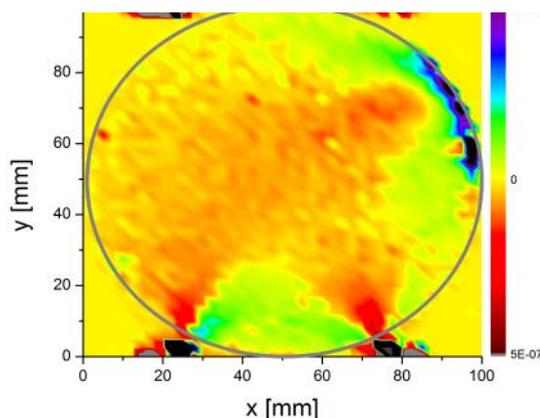


Abb. 1. Darstellung der spannungsinduzierten Doppelbrechung an einem Silizium-Einkristall.
Foto: AG TP

machen kann und so immer schwächere Signale aus dem All untersuchen kann. Ein wichtiger Ansatz ist dabei die Untersuchung kristalliner Materialien bei tiefen Temperaturen. Sowohl optische, thermische als auch mechanische Eigenschaften werden in einem weltweit einzigartigen Labor untersucht und deren Wirkungsweise in modernen Detektoren modelliert. Erstmals wurde die spannungsinduzierte Doppelbrechung von Silizium-Einkristallen untersucht und gezeigt, wie diese sich in modernen Instrumenten auswirkt.

Ein wichtiger Fortschritt bei der Modellierung von thermischen Rauschen in opto-mechanischen Systemen war die Entwicklung eines allgemeinen Verfahrens, das es gestattet, Rauschen an beliebig geformten Oberflächenstrukturen (inkl. Nanostrukturen) zu bestimmen.

Krüger C., Heinert D., Khalaidovski A., Nawrodt R., Schnabel R., Lück H. (2016): Birefringence Measurements on Crystalline Silicon. *Class. Quantum Grav.*, 10.1088/0264-9381/33/1/015012.

Kroker S., Dickmann J., Hurtado C. B., Heinert D., Nawrodt R., Levin Y., Vyatchanin S. P. (2017): Brownian Thermal Noise in Functional Optical Surfaces. *Phys. Rev. D*, 10.1103/PhysRevD.96.022002.

Kryo-Stromkomparatoren—exakte Intensitätsmessungen für Großforschungszentren

Supraleitende Kryo-Stromkomparatoren aus Jena realisieren hochempfindliche Strommessungen, mit deren Hilfe kleinste Intensitäten im Strahlstrom moderner Teilchenbeschleuniger zerstörungsfrei gemessen werden können. Ein solches Gerät arbeitet am CERN-AD (Antiproton Decelerator) schon fast im Routinebetrieb. Dem BMBF-Projektverbund von HI Jena, GSI Darmstadt, IPHT Jena, CERN, TU Darmstadt und FSU ist es jetzt gelungen, einen Kryo-Stromkomparator zu entwickeln, der die ausreichenden Dimensionen für einen Einsatz an den großen Strahlrohren des FAIR-Projekts besitzt.

Fernandes M. et al. (2017): Non-perturbative measurement of low-intensity charged particle beams. *Supercond. Sci. Technol.*, 10.1088/0953-2048/30/1/015001.

Tympel V. et al. (2017): Cryogenic Current Comparators for 150 mm Beamline Diameter. *Proc. IBIC'17*, im Druck.



Abb. 2. Teilnehmer eines BMBF-Projekttreffens im CERN-AD-Kontrollraum: Der CCC läuft!
Foto: privat 04/2017/ V. Tympel.

Kryotechnische Anwendungen

Zwei weitere ausgewählte Projekte, die in der AG in 2016/17 bearbeitet wurden, sind die Drittmittelprojekte MAKSEL und STREAM, die jeweils über das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWi sowie in Kooperation mit jeweils zwei weiteren Partnern gefördert wurden. Im Projekt MAKSEL wurden dünnwandige Komponenten aus glasfaserverstärktem Epoxidharz entwickelt, die eine minimierte Heliumdiffusionsrate aufweisen. Im Ergebnis sind dünnwandige GfK-Rohre mit einer Heliumpermeationskonstante von maximal $2 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{s}$ verfügbar. Diese werden jetzt im eigenen Sonderkryostatenbau mit dem Ziel verwendet, wartungsfreie Betriebszyklen von einem Jahr zu garantieren. Im Projekt STREAM können Eispartikel geeigneter Eigenschaften hergestellt und für Entschichtungsprozesse angewandt werden. Die Entwicklung baustellengeeigneter Apparaturen zur Herstellung der Partikel und Komponenten von traditionellen Strahlapparaturen für den Einsatz von kryogenen Partikeln befinden sich aktuell in der Bearbeitungsphase.

Der der Arbeitsgruppe Tieftemperaturphysik zugeordnete zentrale Tieftemperaturservice (TTS) versorgt die Einrichtungen der Friedrich-Schiller-Universität inklusive des Klinikums mit Flüssigstickstoff und Flüssighelium. Flüssighelium wird auch für weitere Forschungseinrichtungen der Technologieregion Jena bereitgestellt. Das jährliche Produktionsvolumen an Flüssighelium liegt über viele Jahre zwischen 40.000 und 50.000 Litern.

Der TTS plant, realisiert und betreibt weitere große Kryoapparaturen der FSU und erarbeitet laufend für Investitionen der FSU erforderliche Entscheidungsvorlagen. Im Jahr 2017 wurde z.B. die Gasversorgung des Abbe Center of Photonics auf kryogene Gasspeicherung umgestellt.



Abb. 3. Heliumverflüssiger der FSU Jena zur Versorgung von Forschungseinrichtungen sowie der medizinischen Diagnostik im Raum Jena. Foto: AG TP

In diesem Fall wurden auch Großapparate des TTS, zwischenzeitlich an die Chemisch-Geowissenschaftliche Fakultät verliehen und wiederverwendet, womit erhebliche Investitionskosten eingespart werden konnten. Die FSU nutzt so gezielt Synergieeffekte und realisiert damit

über den TTS regelmäßig den effizienten Einsatz kryogener Anlagen.

Institut für Festkörpertheorie und -optik (IFT0)



Institutsdirektor: Prof. Dr. Ulf Peschel

Lehrstuhl für Theoretische Physik/Festkörperphysik

Prof. Dr. Silvana Botti

Lehrstuhl für Festkörperoptik

Prof. Dr. Ulf Peschel

Adresse: Fröbelstieg 1 (Abbeanum), 07743 Jena

Homepage: www.ico.uni-jena.de

Lehrstuhl für Theoretische Physik / Festkörperphysik

Prof. Dr. Silvana Botti

Forschungsschwerpunkte

- Vielteilchen-Theorie der kondensierten Materie: Entwicklung von Näherungsmethoden und Computer-Codes zur Beschreibung elektronischer Anregungen in Festkörpern
- theoretische Spektroskopie: Berechnung der elektronischen und optischen Eigenschaften von komplexen Materialien, Nanostrukturen und Grenzflächen zum besseren Verständnis von Experimenten
- computergestütztes Material-Design durch Kombination von Hochdurchsatz-Ab-Initio-Rechnungen mit Methoden zur Kristallstrukturvorhersage
- Anwendung von Methoden des maschinellen Lernens zur Vorhersage der thermodynamischen Stabilität neuartiger Materialien

Ein Beispiel zur Methodenentwicklung: Neues lokales Hybrid-Dichtefunktional für Grenzflächen

Im Kontext der Dichtefunktionaltheorie bilden die Hybridfunktionale eine große Familie von Funktionalen zur verbesserten näherungsweise Beschreibung des Austausch-Korrelations-Beitrags zur Gesamtenergie eines Systems wechselwirkender Elektronen. Nach ihrer Einführung in der theoretischen Chemie sind Hybridfunktionale mittlerweile auch zum Stand der Technik für die Berechnung der elektronischen Eigenschaften von Festkörpern geworden. Der Schlüssel zu ihrer Leistungsfähigkeit liegt in der Mischung von nichtlokalem Fock-Austausch mit einem semilokalen Austausch-Korrelations-Funktional. Die Wahl des Mischparameters ist für inhomogene Systeme wie Grenzflächen zwischen zwei verschiedenen Festkörpern besonders kritisch. In diesem Zusammenhang haben wir vor Kurzem eine nichtlokale Mischfunktion, welche selbst ein Dichtefunktional ist, vorgeschlagen. Diese Mischfunktion hängt über eine Schätzfunktion für die lokale dielektrische Funktion funktional von der Elektronendichte ab. Mit Hilfe dieser Mischfunktion erhalten wir Bandlücken sowie Banddiskontinuitäten an Grenzflächen in exzellenter Übereinstimmung mit dem Experiment. Die Genauigkeit ist vergleichbar mit der komplexerer Methoden wie Vielteilchen-Störungstheorie, jedoch mit dem numerischen Aufwand einer Dichtefunktionaltheorie-Rechnung.

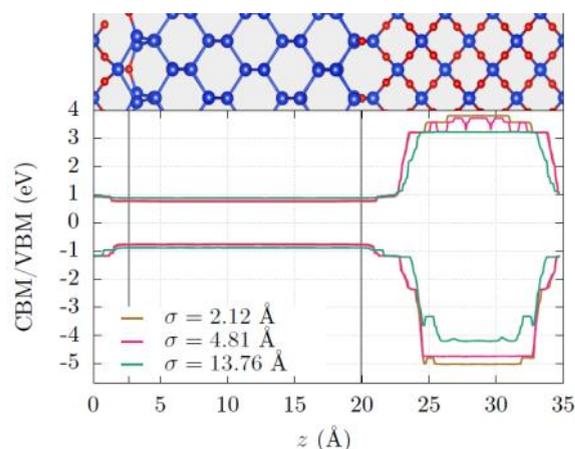
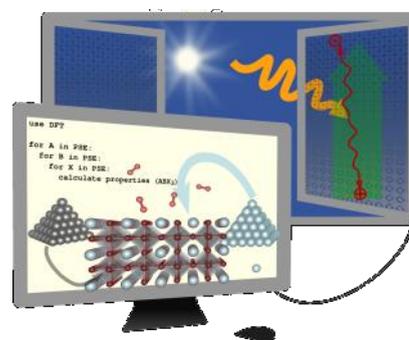


Abb. 1. Mit Hilfe des Hybridfunktionals berechneter Bandkantenverlauf an einer Si/SiO₂-Grenzfläche. Gezeigt sind die Ortsabhängigkeit des Valenzbandmaximums und des Leitungsbandminimums entlang der Grenzflächennormalen. Silizium-Atome sind durch blaue Kugeln und Sauerstoff-Atome durch rote Kugeln dargestellt.

Computergestütztes Material-Design: Suche nach stabilen und leistungsfähigen Perovskiten für die Photovoltaik

Ternäre Verbindungen in der Perowskit-Struktur sind eine intensiv untersuchte Materialklasse mit bemerkenswerten elektronischen Eigenschaften, welche sie zu Schlüsselmaterialien für eine Vielzahl technologischer Anwendungen machen. Perowskite dienen insbesondere als Absorber in der neuen Generation von Perowskit-Solarzellen, welche in nur wenigen Jahren einen Wirkungsgrad von über 22 % erreicht haben. Die Suche nach chemisch stabilen, ungiftigen und preisgünstigen Perowskiten, die gleichzeitig einen hohen Wirkungsgrad der Solarzelle garantieren, ist ein essentieller Schritt in der Weiterentwicklung dieser Technologie zur Marktreife. Die Lösung des altbekannten Problems, neue Materialien für spezifische Anwendungen zu finden, hat dank der Möglichkeit, große Klassen von Materialien mittels Ab-Initio-Rechnungen auf Supercomputern nach den gewünschten Eigenschaften zu durchforsten, neue Dynamik gewonnen. Mit Hilfe effizienter und dennoch genauer numerischer Methoden zur Berechnung der Elektronenstruktur, wie beispielsweise der Dichtefunktionaltheorie, können vielversprechende Verbindungen identifiziert, vollständig charakterisiert und anschließend Experimentatoren zur Synthetisierung vorgeschlagen werden. In den vergangenen zwei Jahren haben wir unter Verwendung einer Kombination aus Hochdurchsatz-Prototypen-Suche, Methoden zur Kristallstrukturvorhersage, genetischen Algorithmen und maschinellem Lernen das Periodensystem der Elemente nach neuen Materialien für die Photovoltaik durchsucht.



Wir fanden zahlreiche Perowskit-Verbindungen, die stabil gegenüber dem Zerfall in bekannte ternäre, binäre und elementare Verbindungen sind, und chemische Zusammensetzungen aufweisen, welche noch nicht in den verfügbaren Datenbanken aufgeführt sind. Für diese Kristallstrukturen haben wir anschließend elektronische Bandlücken, effektive Lochmassen sowie die spontane ferroelektrische und magnetische Polarisation berechnet. Diese Größen sind relevante Materialkennzahlen für eine Reihe von Anwendungen wie Lichtabsorber, transparente Kontakte sowie piezoelektrische und magnetoelektrische Bauelemente. Einige unserer neu entdeckten Perowskite weisen vielversprechende Eigenschaften für diese Anwendungen auf.

Körbel S., Marques M.A.L., and Botti S., *Stability and electronic properties of new inorganic perovskites from high-throughput ab initio calculations* (2016), *J. Mater. Chem. C* 4, 3157-3167, DOI: 10.1039/c5tc04172d

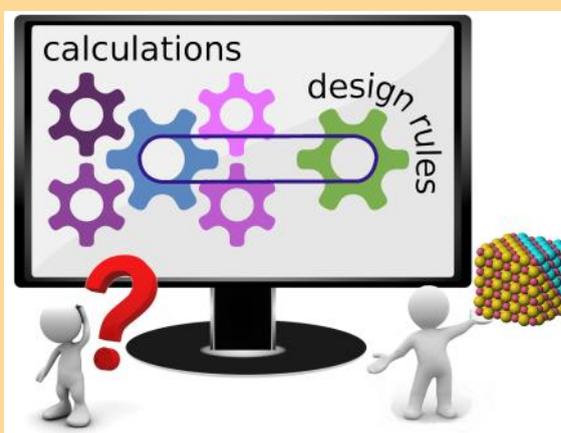
Schmidt J., Shi J., Borlido P., Chen L., Botti S., and Marques M.A.L., *Predicting the thermodynamic stability of solids combining density functional theory and machine learning*, (2017) *Chem. Mat.* 29, 5090-5103. DOI: 10.1021/acs.chemmater.

Beschleunigung der Suche nach neuen Materialien durch maschinelles Lernen

In jüngster Vergangenheit ist das Interesse an der Anwendung von Methoden des maschinellen Lernens auf Fragestellungen aus der Physik der kondensierten Materie und der theoretischen Chemie rasant gestiegen. Teilweise wurde diese Interesse durch beispiellose Fortschritte in anderen Feldern der numerischen Datenverarbeitung (z.B. Gesichtserkennung, selbstfahrende Autos, Go- und Schachspiel) angefacht, wo Techniken des maschinellen Lernens übermenschliche Fähigkeiten erlangt haben.

Ist es heute möglich, dass eine lernende Maschine die Stabilität und Eigenschaften eines Materials vorhersagt, ohne die Vielteilchen-Schrödinger-Gleichung zu lösen? Wir haben mehrere Methoden des maschinellen Lernens mit dem Ziel, die thermodynamische Stabilität von Festkörpern vorherzusagen, getestet. Wir haben dabei gezeigt, dass der Fehler bei der Berechnung der Bildungsenergien durch die Maschine noch zu groß ist. Effiziente, genaue Methoden zur Lösung der Vielteilchen-Schrödinger-Gleichung werden immer noch gebraucht. Nichts-

destotrotz kann maschinelles Lernen sehr hilfreich sein, um den Parameterraum der zu durchsuchenden chemischen Verbindungen einzuschränken, sodass die genaueren Dichtefunktionaltheorie-Rechnungen nur für eine kleinere Zahl von vielversprechenden Kandidaten durchgeführt werden müssen. Dieses Vorgehen beschleunigt die gezielte Materialsuche erheblich, ohne die Genauigkeit der Endergebnisse zu reduzieren.



Lehrstuhl für Festkörperoptik Prof. Dr. Ulf Peschel

Forschungsschwerpunkte

- Theoretische Analyse und numerische Simulation der Ausbreitung von Licht: Optik nanophotonischer Komponenten; Eigenzustände der Feldevolution wie Wellenleiter- oder Resonatormoden; effiziente Algorithmen zur Modellierung elektromagnetischer Wellen und ihrer Wechselwirkung mit Metallen und Dielektrika
- Nichtlineare Dynamik und Selbstorganisation von Licht in optischen Systemen: Modulationsinstabilitäten und Musterbildung; Anregung und Ausbreitung von optischen Solitonen; numerische Bestimmung und Stabilitätsanalyse von solitären Wellen; nichtlineare Lokalisierung
- Licht-Materie-Wechselwirkung in resonant angeregten Halbleitern: Simultane numerische Beschreibung der Felddausbreitung (Finite Difference Time Domain- FDTD) und des resonant angeregten Halbleitermaterials (Halbleiter-Maxwell-Bloch-Gleichungen); Exzitonen und andere optisch angeregte Quasiteilchen
- Optik räumlich und zeitliche diskreter Systeme: Photonische Gitter; Wellenleiterarrays; Bandstrukturen; Einfluss von Symmetrien und Topologie; Parity-Time (PT) symmetrische Systeme; diskrete Solitonen

Lineare und Nichtlineare Dynamik in diskreten Fasernetzwerken

Random Walks beschreiben gewöhnlich Diffusionsprozesse von klassischen Partikeln. Bei quantenmechanischen Teilchen wie Photonen tritt noch zusätzlich Interferenz auf, was zu einer völlig neuen und wesentlich facettenreicheren Dynamik führt, die man erst in neuester Zeit angefangen hat zu untersuchen.

In unsere Gruppe studieren wir theoretisch und experimentell Zufallsbewegungen von kohärenten Lichtpulsen in einem ausgedehnten Fasernetzwerk. Hierfür verwenden wir einen Versuchsaufbau, der aus zwei gekoppelten Faserschleifen besteht (Abb. 1a). Ein Längenunterschied ΔL der Schleifen führt zu einer effektiven Diskretisierung der Ankunftszeit der Pulse. Nach einer festen Zahl von Umläufen (Schritt m) hängt die Ankunftszeit des Pulses (Position n) von der Zahl der Durchgänge durch die kurze/lange Schleife ab. Die Evolution der Pulse ist äquivalent zu der Ausbreitung quantenmechanischer Teilchen auf einem Gitter, auf dem die finale Position auch von der Zahl der Schritte nach links oder rechts abhängt. Wegen seines einfachen Aufbaus erlaubt unser System die experimentelle Verifikation fundamentaler Voraussagen zur Evolution kohärenter Pulse auf regulären Gittern (Abb. 1b,e), auch unter dem Einfluss von optischem Gewinn und Verlust oder unter der Wirkung von Nichtlinearitäten (Abb 1c,d,f,g).

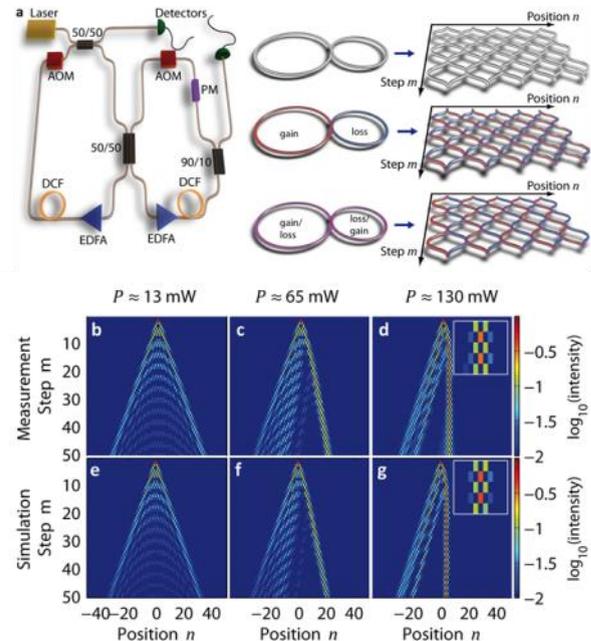


Abb. 1. a) Experimentelle Realisierung eines Photon-Random-Walks und äquivalente Gitter, auf die die Pulsevolution abgebildet werden kann. Durch Verwendung optischer Verstärker (EDFA) und Abschwächer (AOM) können unterschiedliche effektive Gitter mit moduliertem Gewinn und Verlust erzeugt werden. b) und e) Für geringe Pulsleistungen breitet sich das Feld ballistisch im Gitter aus (b,e). Bei Erhöhung der Pulsleistung kommt es zur nichtlinearen Lokalisierung und Solitonenbildung (c,d,f,g)

Modellierung der Ausbreitung optischer Felder in resonant angeregten Halbleitern

Aufgrund ihrer einfachen Herstellung, der hervorragenden optischen Eigenschaften und der hohen Kristallqualität stellen Halbleiter-Nanodrähte ideale nanooptische Bauelemente dar. Da sie wegen der hohen Reflektivität ihrer Endfacetten gute optische Resonatoren bilden und die verwendeten direkten Halbleiter eine erhebliche Verstärkung ermöglichen, kann man aus ihnen äußerst effiziente kohärente Nanolichtquellen aufbauen, die als Bindeglieder zwischen elektronischen und photonischen integrierten Systemen dienen können.

In unserer Gruppe beschäftigen wir uns vor allem mit der Modellierung von Nanodrahtlasern aus ZnO- und CdS. Dazu wurden Halbleiter Maxwell-Bloch-Gleichungen mit unterschiedlichen optischen Ausbreitungscores (z.B. Finite Difference Time Domain–FDTD) gekoppelt. Die Zusammenarbeit mit verschiedenen experimentellen Gruppen im Rahmen der DFG-Forschergruppe FOR1616 und die Überprüfung unserer Ergebnisse im Experiment spielt dabei eine wichtige Rolle.

R. Buschlinger, M. Lorke, and U. Peschel, "Coupled-Mode Theory for Semiconductor Nanowires", *Phys. Rev. Applied* 7, 034028 (2017). DOI: 10.1103/PhysRevApplied.7.034028

T. Michalsky, H. Franke, R. Buschlinger, U. Peschel, M. Grundmann, R. Schmidt-Grund, "Coexistence of strong and weak coupling in ZnO nanowire cavities", *European Journal of Applied Physics* 74, 30502 (2016)

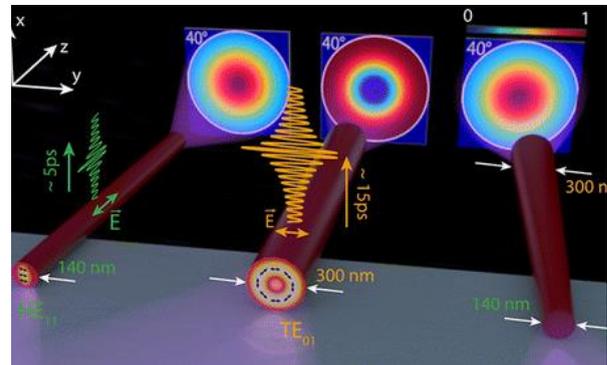


Abb. 2 Typische Halbleiternanodrähte und Profile der in ihnen nach optischer Anregung anschwingenden Lasermoden. Durch Variation des Drahtdurchmessers über der Länge kann Einmodigkeit auch bei dickeren Drähten erzwungen werden (R. Röder, T. P. H. Sidiropoulos, R. Buschlinger, M. Riediger, U. Peschel, R. F. Oulton, and C. Ronning, "Mode Switching and Filtering in Nanowire Lasers," *Nano Lett.* 16, pp 2878–2884 (2016))

Elektromagnetische Modellierung Nanophotonischer Strukturen

Die numerische Modellierung der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in nanophotonischen und plasmonischen Komponenten spielt am Lehrstuhl eine wichtige Rolle. Wir simulieren z.B. die Führung von Licht in Wellenleitern, seine Wechselwirkung mit photonischen Kristallen oder seine Konzentration in der Umgebung metallischer Strukturen. Dazukommt eine Vielzahl numerischer Algorithmen, wie auf dem Finite Difference Time Domain (FDTD) Verfahren oder der Beam Propagation Method (BPM) beruhende Ausbreitungscores oder unterschiedlichste Eigenmodenlöser in

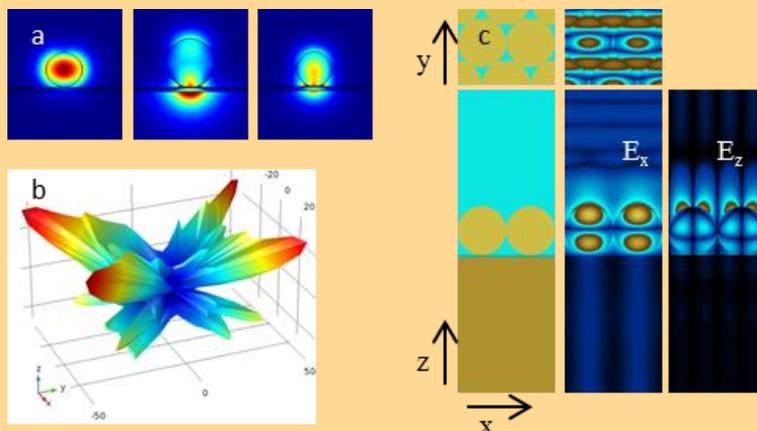


Abb. 3. Simulation nanophotonischer Komponenten auf Metallschichten, a) Moden eines Halbleiternanodrahtlasers und b) ihre Abstrahlcharakteristik, c) Anregung eines photonischen Kristalls

selbstgeschriebenen, aber auch kommerziellen Softwarepaketen zum Einsatz. Ziel ist neben der Überprüfung theore-

tischer Voraussagen die enge Zusammenarbeit mit dem Experiment.

Institut für Optik und Quantenelektronik (IOQ)



Foto: Jan Nathanael

Institutsdirektor: Prof. Dr. Malte Kaluza

Lehrstuhl für Experimentalphysik/Relativistische Laserphysik

Prof. Dr. Malte Kaluza

Lehrstuhl für Experimentalphysik/Nichtlineare Optik

Prof. Dr. Gerhard G. Paulus

Lehrstuhl für Experimentalphysik/Quantenelektronik

Prof. Dr. Christian Spielmann

Lehrstuhl für Atomphysik hochgeladener Ionen (am HI Jena)

Prof. Dr. Thomas Stöhlker

Lehrstuhl für Laserteilchenbeschleunigung (am HI Jena)

Prof. Dr. Matt Zepf

Carl-Zeiss-Juniorprofessur für Attosekunden-Laserphysik

Jun.-Prof. Dr. Adrian Pfeiffer

Arbeitsgruppe Röntgenoptik

Prof. Dr. Eckhart Förster (in Rente)

Adresse: Max-Wien-Platz 1, 07743 Jena

Homepage: www.ioq.uni-jena.de

Lehrstuhl für Experimentalphysik/Relativistische Laserphysik

Prof. Dr. Malte C. Kaluza

Forschungsschwerpunkte

- Schwerpunkt 1: Entwicklung und Betrieb von Hochleistungslasersystemen mit Spitzenleistungen im Bereich von 100 TW bis 1 PW – Optimierung der Laserparameter für spezielle Anwendungen
- Schwerpunkt 2: Petawatt Optical Laser Amplifier for Radiation Intensive experimentS – POLARIS
- Schwerpunkt 3: Design und Realisierung alternativer Konzepte zur Teilchenbeschleunigung: kompakte Laser-getriebene, Plasma-basierte Ionen- und Elektronenbeschleuniger
- Schwerpunkt 4: Anwendung hochenergetischer Teilchenpulse aus Laser-basierten Beschleunigern: Realisierung sekundärer Strahlungsquellen und Verwendung von Teilchenpulsen für medizinische Anwendungen
- Schwerpunkt 5: Charakterisierung von Laser-basierten Teilchenbeschleunigern: Entwicklung von bildgebenden Diagnostiken für Laser-erzeugte Plasmen, Entwicklung von few-cycle Probepulsen im sichtbaren und mittleren Infrarotbereich

Forschungsprojekt 1: Entwicklung Dioden-gepumpter Hochleistungslaser – POLARIS

Ein Hauptforschungsfeld des Lehrstuhls für Relativistische Laserphysik ist die Entwicklung von Dioden-gepumpten Hochleistungslasersystemen für die unterschiedlichsten Anwendungsgebiete. Prominentestes Beispiel ist das vollständig Dioden-gepumpte Lasersystem POLARIS, das vollständig am IOQ und am Helmholtz-Institut Jena entwickelt und gebaut wurde und das derzeit Laserpulse auf eine maximale Energie von 54,16 J [1] verstärken kann. Die verstärkte Frequenzbandbreite erlaubt eine Kompression der Pulse auf eine Dauer von 98 fs, so dass – bei einer auf dem Target erreichten maximalen Energie von 16,7 J – eine Spitzenleistung von 170 TW für Experimente zur Verfügung steht. Damit ist POLARIS das La-

asersystem mit der derzeit höchsten Spitzenleistung und –intensität, das darüber hinaus routinemäßig für Experimente zur Laser-induzierten Teilchenbeschleunigung genutzt werden kann. Für spezielle Anwendungen, z.B. die Laser-Ionenbeschleunigung werden u.U. extreme Anforderungen an die Laserpulse gestellt, z.B. an den Pulscontrast [2,3], der so hoch sein muss, dass die für die Wechselwirkung verwendeten, teilweise nur wenige nm dicken Targetfolien nicht schon durch etwaige Vorpulse zerstört werden. Um diese Anforderungen zu erfüllen, sind von uns zahlreiche Optimierungen und auch theoretische Untersuchungen für das POLARIS Lasersystem durchgeführt worden, so dass der derzeit erzielte relative Contrast der Laserpulse auf 2×10^{-13} ebenfalls einen Rekordwert für solche Lasersysteme darstellt. Durch die Kooperation mit dem Helmholtz-Institut Jena und anderen Helmholtz-Zentren ist POLARIS weiterhin eine ideale Entwicklungsplattform für ähnliche Lasersysteme, die weltweit im Einsatz sind.

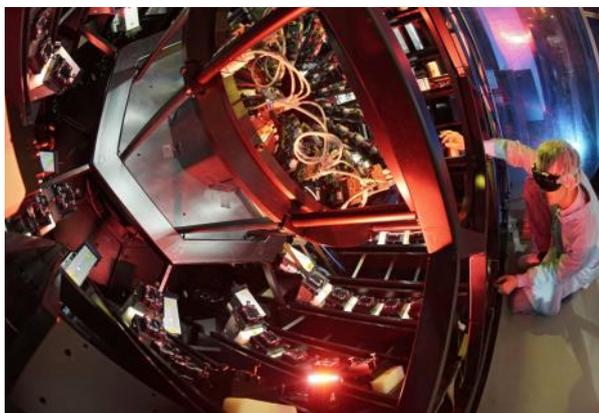


Abb. 1. Justierarbeiten am letzten Verstärker von POLARIS Foto: Kaper, FSU.

[1] Hornung M. et al., (2016): Generation of 54.2 J Pulses with 18-nm Bandwidth from a Diode-Pumped CPA-Laser System, Optics Letters, doi: 10.1364/OL.41.005413

[2] Keppler S. et al., (2016): The generation of amplified spontaneous emission in high-power CPA laser systems, Laser and Photonics Reviews, 10.1002/lpor.201500186

[3] Liebetrau H. et al. (2017): Intracavity stretcher for chirped-pulse amplification in high-power laser systems, Opt. Lett., doi: 10.1364/OL.42.000326

Forschungsprojekt 2: Alternative Beschleunigerkonzepte—Laser-basierte Teilchenbeschleuniger

Laser-basierte Teilchenbeschleuniger werden derzeit weltweit als eine der vielversprechendsten Alternativen zu konventionellen Beschleunigeranlagen angesehen. Mit solchen neuartigen Beschleunigern können Teilchenpulse mit Parametern (z.B. in Bezug auf Pulsdauer, Emittanz oder Quellgröße) erzeugt werden, die derzeit mit allen anderen Beschleunigerkonzepten nicht realisierbar sind. Weiterhin können diese Teilchenpulse – vor allem aufgrund der extremen elektrischen Felder, die bei der Wechselwirkung entstehen – in Experimenten erzeugt werden, die in einen Laboraufbau im Universitätsmaßstab passen. An unserem Lehrstuhl entwickeln wir u.a. Diagnostiken, um die physikalischen Prozesse, die diesem Beschleunigungsprozess zugrunde liegen, im Experiment zu untersuchen und besser zu verstehen. Durch die weltweit einmalige Kombination aus sehr leistungsstarken Lasern, die die Wechselwirkung treiben, und dazu synchronisierten Probepulsen, die nur wenige optische Zyklen lang sind [4], sind uns erstmals detaillierte Einblicke in die Beschleunigung von Elektronen in sog. Laser-erzeugten Plasmawellen gelungen, die bis dahin nur aus Simulationen bekannt waren [5,6]. Durch die hieraus gewonnenen Erkenntnisse konnten wir die numerischen Simulationen, die bis dahin das wesentliche Werkzeug waren, um die Interaktion genau zu verstehen, anpassen, um die experimentellen Ergebnisse besser und realistischer zu reproduzieren. Unser ultimatives Ziel ist es – auch in Kollaboration mit nationalen und internationalen Partnern – mithilfe der Laser-basierten Teilchenbeschleunigung einen Prototyp eines solchen Beschleunigers zu realisieren, der Teilchenpulse mit vorwählbaren Parametern und der notwendigen Stabilität liefert, die für Anwendungsexperimente zur Verfügung stehen. Erste Experimente zur Verwendung von sekundären Strahlungspulsen oder Teilchenstrahlung, z.B. auch in der Medizin und der Tumorbestrahlung, konnten in unserer Gruppe in den vergangenen Jahren erfolgreich durchgeführt werden.

[4] Schwab M. et al., (2013): Few-cycle optical probe-pulse for investigation of relativistic laser-plasma interactions. *Applied Physics Letters*, doi: 10.1063/1.4829489.

[5] Buck A. et al., (2011): Real-time observation of laser-driven electron acceleration. *Nature Physics*, doi:10.1038/nphys1942

[6] Sävert, A. et al. (2015): Direct Observation of the Injection Dynamics of a Laser Wakefield Accelerator Using Few-Femtosecond Shadowgraphy. *Physical Review Letters*, doi: 10.1103/PhysRevLett.115.055002.

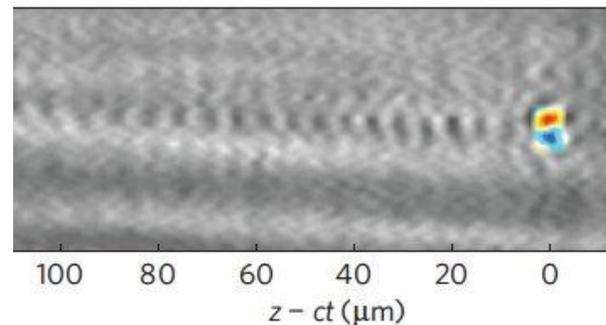


Abb. 2. Aufnahme einer nach rechts laufenden, Laser-erzeugten Plasmawelle (graue Farbskala) und Signal des beschleunigten Elektronenpulses (farbig). Dieser Puls hat eine Dauer von nur (2.5 ± 0.9) fs (aus [5])

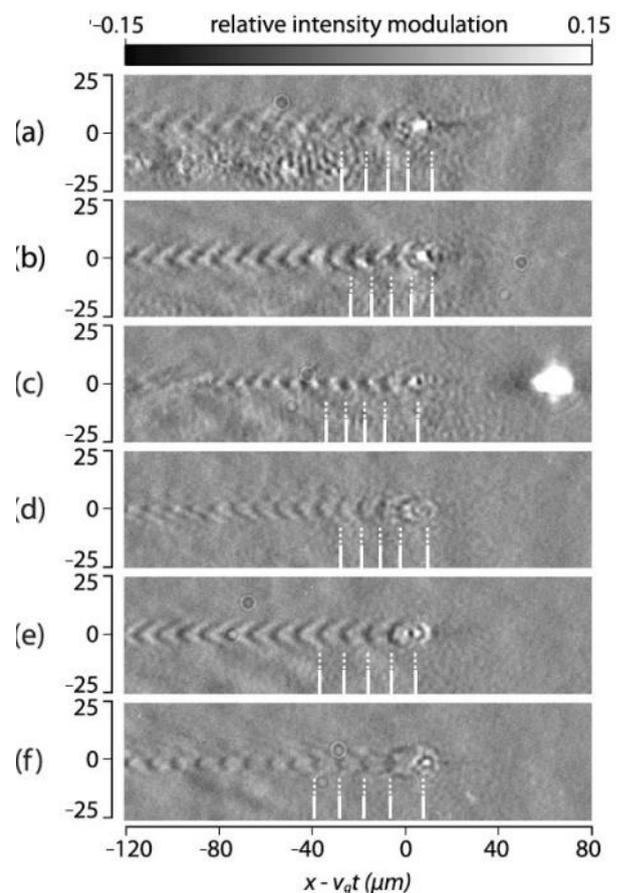


Abb. 3. Entwicklung einer Laser-erzeugten Plasmawelle während ihrer Propagation durch das Plasma (aus [6])

Lehrstuhl für Nichtlineare Optik Prof. Dr. Gerhard G. Paulus

Forschungsschwerpunkte

Die Forschung des Lehrstuhls Nichtlineare Optik konzentriert sich auf ausgewählte Aspekte der Wechselwirkung intensiver Laserstrahlung mit Materie. Projekte der vergangenen Jahre sind Photoionisation und -dissoziation in starken Laserfeldern, Erzeugung von XUV- und THz-Strahlung bei relativistischer Wechselwirkung mit Oberflächen, nanoskalige XUV-Bildgebung und Röntgen-Präzisionspolarimetrie einschließlich Anwendungen. Dieser Bericht konzentriert sich exemplarisch auf zwei Projekte aus der Starkfeld-Laserphysik und der XUV-Bildgebung.

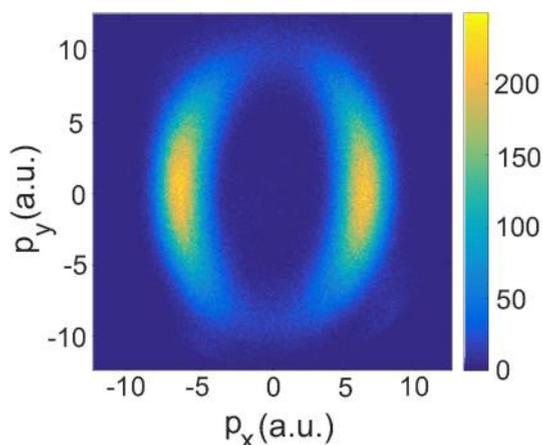
Fragmentierung von He^+ , H_2^+ und HeH^+ in intensiven Laserfeldern

Unsere Arbeitsgruppe erforscht seit vielen Jahren die Wechselwirkung intensiver, ultrakurzer Pulse mit Atomen und Molekülen. 2018 feiert die Starkfeld-Laserphysik-Community mit Symposien und Sonderbänden das 25-jährige Jubiläum der Rückstreu-Physik, zu der die Entdeckung des Above-threshold-Ionisations- (ATI-) Plateaus durch den heutigen Lehrstuhlinhaber einen entscheidenden Beitrag geleistet hat.

Heute stützen sich unsere Experimente auf wesentlich leistungsfähigere und komplexere Lasersysteme und Spektrometer als vor 25 Jahren, um einerseits bislang nicht erreichbare Parameterbereiche und andererseits unerforschte atomare und molekulare Systeme zu untersuchen. Unser Interesse gilt dabei speziell fundamental bedeutenden Teilchen wie He^+ , H_2^+ und HeH^+ .

Fundamentale Aspekte der Ionisation mit sichtbarer und infraroter intensiver Laserstrahlung können in einem zwei- oder drei-stufigen Modell verstanden werden, wobei der erste Schritt optische Feldionisation ist. Danach bewegt sich das Photoelektron auf mehr oder weniger klassischen Trajektorien. Daraus ergibt sich fast zwangsläufig die offenbar nie alternde und stets kontroverse Frage nach der Tunnelzeit. Eindeutige Antworten können darauf nur Experimente mit wasserstoff-ähnlichen Ionen geben. Die

entsprechenden Experimente mit unserer Ionenstrahlapparatur sind aufgrund der Komplexität der Anlage und niedrigen Ereignisraten außerordentlich mühsam, aber gleichwohl erfolgreich. Interessanterweise kann die entsprechende Schrödingergleichung bei den relevanten Parametern mit der verfügbaren Rechentechnik noch nicht gelöst werden. Eine andere fundamental bedeutende Fragestellung betrifft die Fragmentation von Molekülen in starken Laserfeldern. Wir haben in den vergangenen Jahren durch Ionenstrahl-Experimente mit H_2^+ wichtige Beiträge leisten können. Heute wird die Vorstellung über die Fragmentations-Mechanismen bei H_2^+ mangels Alternativen auf alle anderen Molekülbindungen übertragen. Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 1840: *Quantendynamik in maßgeschneiderten intensiven Strahlungsfeldern (QUTIF)* haben wir begonnen, das der homonuklearen H_2^+ -Bindung gegenüberstehende Extrem HeH^+ zu untersuchen. Die Motivation speist sich dabei zusätzlich aus dem Zusammenspiel dieses asymmetrischen Moleküls mit den für Einzelzyklenpulsen typischen asymmetrischen Wellenformen sowie der Verfügbarkeit von vier Isotopologen mit sehr verschiedenen Masseverhältnissen.



Ionisation von He^+ -Ionen mit elliptisch polarisierter Laserstrahlung bei ca. 10^{17} W/cm². Gezeigt ist das Impulsspektrum der He^{2+} -Ionen. Die leichte Verdrehung der Struktur in Richtung Uhrzeigersinn wird von einigen Autoren z.T. einer endlichen Tunnelzeit zugeschrieben.

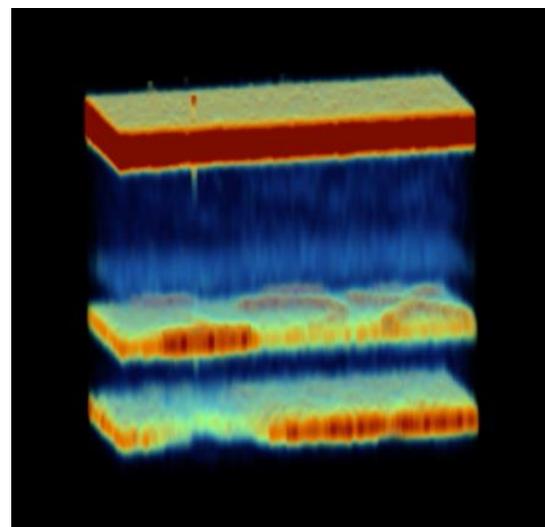
Nanoskalige Bildgebung durch XUV-Kohärenztomographie

Ausgehend von unserer Grundlagenforschung in der Starkfeld- und Attosekunden-Laserphysik haben wir eine Methode erfunden und patentiert, mit der die Optische Kohärenztomografie (OCT), die im Mikrometerbereich zerstörungsfrei Querschnittsbilder erzeugen kann und z.B. beim Augenarzt alltäglich geworden ist, zu extrem kurzen Wellenlängen verallgemeinert werden kann. Bei dieser von uns XUV Coherence Tomography (XCT) genannten Methode konnte bei Experimenten am Synchrotron eine Auflösung bis hinab zu 3 Nanometern erzielt werden. Die Besonderheit der Kohärenztomografie ist die Tatsache, dass sie mit breitbandigem Licht arbeitet. Die Tiefenauflösung ist sogar umso besser, je breitbandiger die Strahlung ist. Damit ist die Motivation offensichtlich, die mit Femtosekundenlasern mittels High-harmonic Generation (HHG) relativ leicht erzeugbare XUV-Strahlung für die Bildgebung einzusetzen: Neben ihrer kurzen Wellenlänge zeichnen sich HHG-Spektren durch eine sehr große Bandbreite aus.

In den vergangenen Jahren haben wir intensiv an der Entwicklung von Instrumenten gearbeitet, die die Übertragung unserer Synchrotron-XCT-Experimente in unser Laserlabor ermöglichen. Tatsächlich ist es gelungen, erste XCT-Aufnahmen von in Silizium vergrabenen Strukturen mit einer HHG-Quelle anzufertigen. Die erreichte Tiefenauflösung betrug dabei ca. 20 nm. Eine überaus beeindruckende Eigenschaft der XCT ist ihre Sensitivität. Wir konnten eine nur 2 bis 3 nm dünne Siliziumdioxid-Schicht, die unbeabsichtigt beim Herstellungsprozess entstanden war, sehr leicht nachweisen. Mit herkömmlichen Bildgebungsmethoden hatte wir interessanterweise große Schwierigkeiten, das Resultat zu verifizieren, bis schließlich ein nanometer-dünnes Scheibchen aus der Probe für die Untersuchung im Transmissionselektronenmikroskop (TEM) herauspräpariert wurde.

Die XCT scheint uns ein sehr großes Anwendungspotential zu haben. Neben den bereits beschriebenen Eigenschaften Tiefenauflösung und Sensitivität ist offensichtlich, dass auch die Zeitauflösung zumindest im Femtosekundenbereich liegt. Damit ergibt sich ein weites Anwendungsfeld in der Festkörperphysik. Die Thematik ist auch für die Vernetzung am Standort interessant. Hingewiesen sei in diesem Zusammenhang auf die Zusammenarbeit mit dem Helmholtz-Institut und die bemerkenswerten Erfolge bei der

Steigerung des XUV-Photonenflusses durch die Entwicklung von Femtosekundenlasern mit bislang nicht gekannter Durchschnittsleistung. Entsprechend rückt die Ausdehnung der XCT ins Wasserfenster und Anwendungen in den Lebenswissenschaften in Reichweite. Tatsächlich ist die XUV-Mikroskopie einschließlich der XCT Teil des Exzellenzcluster-Antrags *Balance in the Microverse*. Wir haben begonnen, Aufbauten zu entwickeln, die die Verknüpfung mit Fluoreszenzmikroskopie ermöglichen. Der neue Lehrstuhl für Superauflösende Mikroskopie ist dabei ein natürlicher Kooperationspartner.



Kohärenztomogramm einer Siliziumprobe mit zwei in 200 bzw. 300 nm Tiefe vergrabenen strukturierten Goldschichten. Außerdem zu sehen ist die hier blau gefärbte wenige Nanometer dünne SiO₂-Schicht.

Lehrstuhl für Quantenelektronik Prof. Dr. Christian Spielmann

Forschungsschwerpunkte

- XUV Mikroskopie mit Laborquellen: Mikroskopie mit einer Auflösung im Bereich von wenigen 10nm durch Verwendung von kurzwelligem Lichtquellen, Entwicklung der Quellen und deren Charakterisierung, Implementierung neuer Methoden für linsenlose Mikroskopie
- Nichtperturbative nichtlineare Optik in nanostrukturierten Proben: Multiphoton und Tunnelanregung von Nanolasern: Erzeugung von dichten und heißen Plasmen durch Wechselwirkung von nanostrukturierten Proben mit intensiven Laserpulsen in einem weiten Spektralbereich, Röntgenspektroskopie an Plasmen
- Nichtlineare Optik mit antiresonanten Hohlkernfasern: Charakterisierung von gasgefüllten Hohlkernfasern, Superkontinuumsgeneration, Pulskompression, Ionisationsdynamik von molekularen Gasen mit ultrakurzen Pulsen bei Wellenlängen im mittleren IR
- Spektroskopie von Plasmen bei FAIR: Entwicklung und Aufbau von Röntgenspektrometern zur Untersuchung von Plasmen geheizt mit Schwerionenstrahlen an der GSI und später bei FAIR

Forschungsprojekt 1: XUV Mikroskopie

Optische Mikroskopie ist eine unverzichtbare Technologie für die Erforschung von mikroskopischen Strukturen. Allerdings können Nanoobjekte nicht untersucht werden, da die Auflösung durch die Wellenlänge der beleuchtenden Lichtquelle begrenzt ist. Mit der Verfügbarkeit von Synchrotronen und in letzter Zeit Röntgen-Freie-Elektronen-Lasern ist nun eine Bildgebung mit Nanometerauflösung möglich. Daneben haben sich XUV Laborquellen, die auf der nichtlinearen Frequenzkonversion von intensiven Laserpulsen in das XUV-Regime basieren, bewährt. Hier wurde besonders die Erzeugung Hoher Harmonischer intensiv unter-

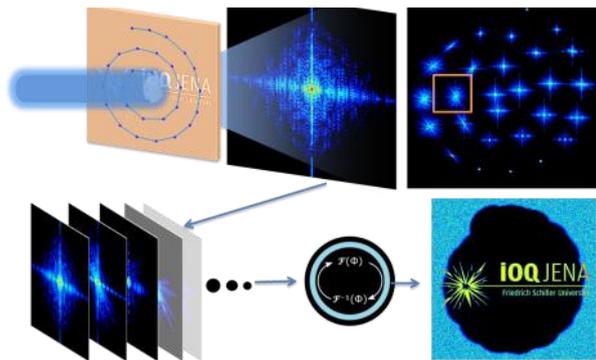


Abb. 1. Linsenlose Bildgebung mit Ptychographie: Die kohärente XUV Strahlung erzeugt an unterschiedlichen Positionen Beugungsbilder, aus denen das ausgedehnte Objekt und die Beleuchtungsfunktion rekonstruiert werden können

sucht, was die Erzeugung kohärenter kurzwelliger Strahlung in der XUV ermöglicht. Diese Quellen sind nicht nur kompakt, sondern bieten auch die Möglichkeit zur zeitaufgelösten Mikroskopie mit einer hohen zeitlichen Auflösung. Allerdings gibt es in diesem Spektralbereich keine Optiken mit hoher numerischer Apertur und geringen Verlusten. Daher wurde eine linsenlose mikroskopische Bildgebung entwickelt, die in der Literatur unter coherent diffraction imaging (CDI) bzw. ihrer Erweiterung der Ptychographie bekannt ist. Beide beruhen auf hochmonochromatischen, kohärenten und intensiven Lichtquellen. Aus den Beugungsbildern direkt hinter dem Objekt kann mit einem geeigneten Algorithmus sowohl das Objekt als auch die Intensität und Phasenverteilung der Probenbeleuchtung rekonstruiert werden. Dieser Ansatz wurde in den folgenden Experimenten erfolgreich eingesetzt:

- In Kooperation mit dem IAP/FSU Jena wurde mit CDI eine Auflösung von 15nm demonstriert und an einer Implementierung von Ptychographie gearbeitet.
- Mittels hochauflösender Mikroskopie wurden einzelne Krebszellen, die vom UKJ Jena zur Verfügung gestellt wurden, klassifiziert.
- In Kooperationen mit dem MBI Berlin, University of California Berkeley und LOA Paris wurde erfolgreich der Einsatz von Röntgenlasern für CDI und Ptychographie demonstriert.

Tadesse et al High speed and high resolution table-top nanoscale imaging
Optics Letters 41 (22), 5170 (2016)

Zürch et al., Transverse Coherence Limited Coherent Diffraction Imaging using a Molybdenum Soft X-ray Laser Pumped at Moderate Pump Energies
Scientific Reports 7 (1), 5314 (2017)

Forschungsprojekt 2: Wechselwirkung intensiver Laserpulse mit Nanostrukturen

Die Wechselwirkung von hochintensiven Pikosekunden- und Femtosekunden-Laserpulsen mit Festkörpern ist eine einzigartige Methode zur Erzeugung von dichten und heißen Plasmazuständen und extremen Feldern in Laboratorien. Solche Plasmen sind von großem Interesse für Laborastrophysik sowie für die Entwicklung von Laborquellen für harte Röntgenstrahlen und energiereichen Teilchen. Eines der Hauptprobleme bei dieser Wechselwirkung ist jedoch die Abschirmung der Laserstrahlung durch das Plasma selbst, wodurch lasererzeugte Plasmen niemals sehr dicht und gleichzeitig sehr heiß sein können. Jüngste Fortschritte in der Nanotechnologie und die Möglichkeit, feste Targets mit nanostrukturierten Oberflächen auszustatten, ebnet den Weg zur Bewältigung dieser Herausforderung. Die Bestrahlung solcher nanostrukturierten Targets mit ultra-intensiven Laserpulsen erlaubt eine verbesserte Umwandlung in inkohärente harte und weiche Röntgenstrahlung sowie beschleunigte Partikel. Basierend auf numerischen Simulationen unserer Partner von der HHU Düsseldorf erlaubten uns, die neuen Mechanismen zur Erzeugung von Plasmen besser zu verstehen und entsprechende Experimente zu entwickeln. In Kooperation mit dem IFK/FSU Jena, GSI Darmstadt, TU Braunschweig und TU Wien haben wir Proben in einem weiten Parameterbereich untersucht und wichtige Erkenntnisse zur wellenlängenabhängigen nichtli-

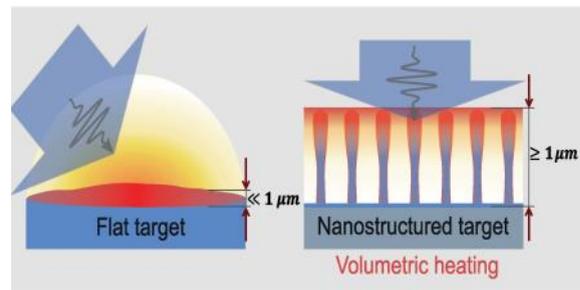


Abb. 2. Wechselwirkung von Laserpulsen mit flachen bzw. nanostrukturierten Proben zur Erhöhung der Effizienz

nearen Absorption der Nanodrähte und deren volumetrischen Plasmaheizung gewonnen, sowie effizient Röntgenstrahlung erzeugt.

Hollinger et al., Enhanced absorption and cavity effects of three-photon pumped ZnO nanowires, *Applied Physics Letters* 111, 213106 (2017)

Samsonova et al., X-ray emission generated by laser-produced plasmas from dielectric nanostructured targets, *AIP Conf. Proc.* 1811, 180001 (2017)

Forschungsprojekt 3: Nichtlineare Optik mit antiresonanten Hohlkernfasern

In diesem Projekt werden die nichtlinearen optischen Eigenschaften atomarer und molekularer Gase mit ultrakurzen Laserpulsen untersucht. Für eine gut definierte Wechselwirkungsgeometrie werden diese Experimente in gasgefüllten Hohlkernfasern durchgeführt. Dabei wurden neuartige antiresonante hollow core fiber (ARHCF) verwendet, die vom IPHT Jena im Rahmen einer Kollaboration bereitgestellt werden. ARHCF zeichnen sich durch einen großen Modenfeld-durchmesser und durch geringe Verluste vom nahen IR bis hinunter in das tiefe UV aus. Unsere ersten Experimente mit einer Kr-gefüllten ARHCF haben eine spektrale Verbreiterung von ultrakurzen Laserpulsen bei 800nm auf den Spektralbereich von 200nm bis 2000nm gezeigt. Neben einer experimentellen Charakterisierung wurden auch umfangreiche Simulationen gemacht, um die Verbreiterungsmechanismen besser zu verstehen. Pulse mit einer Mittenwellenlänge von 1700nm wurden in einer ARHCF in Kooperation mit Kollegen vom INRS Montreal in einem Bereich von 1300 bis 2000nm verbreitert und auf 15fs komprimiert.

Sollapur et al., Resonance-enhanced multi-octave supercontinuum generation in antiresonant hollow-core fibers *Nature Light: Science & Applications* 6 (12), e17124 (2017)

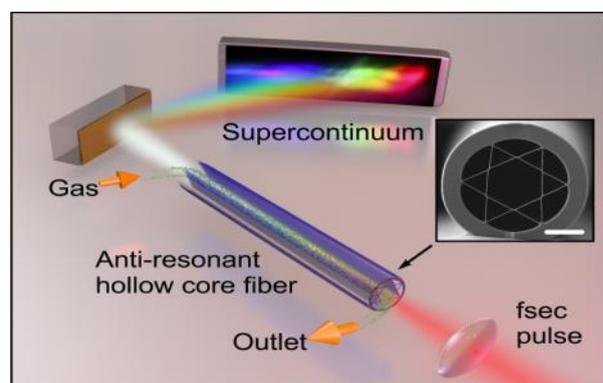


Abb. 3. Aufbau zur Superkontinuumsgeneration in einer Hohlkernfaser: ultrakurze Laserpulse bei einer Wellenlänge von 800nm werden zu einem Superkontinuum im Spektralbereich von 200 bis 2000nm verbreitert.

Lehrstuhl für Atomphysik hochgeladener Ionen Prof. Dr. Thomas Stöhlker

Forschungsschwerpunkte

- Schwerpunkt 1: Hyperfeinstrukturmessungen an hochgeladenen, schweren Ionen zur präzisen Überprüfung quantenelektrodynamischer Effekte in starken magnetischen Feldern.
- Schwerpunkt 2: Entwurf und Charakterisierung von Szintillationsdetektoren zum Ionennachweis am FAIR-Synchrotron CRYRING@ESR.
- Schwerpunkt 3: Laserexperimente an hochgeladenen Ionen: Konstruktion und Inbetriebnahme der EBIT-Quelle und HILITE-Ionenfalle.
- Schwerpunkt 4: Entwicklung und Inbetriebnahme kryogener Mikrokalorimeter-Detektoren für Hochpräzisions-Röntgenspektroskopie-Experimente.

Quantenelektrodynamik starker Felder

Kürzlich gelang durch eine Präzisionsmessung der Hyperfeinstruktur in wasserstoff- und Li-ähnlichen Bismut-Ionen ($^{209}\text{Bi}^{82+}$ und $^{209}\text{Bi}^{80+}$) eine hochsensitive Untersuchung zur Quantenelektrodynamik im Bereich höchster magnetischer Felder. Der Vergleich der experimentellen Daten für Ein- und Drei-Elektronensysteme sollte es ermöglichen, den Einfluss von störenden und theoretisch schwer zu beschreibenden Kerneffekten zu eliminieren und hierdurch eine hochpräzise Mes-

sung der quantenelektrodynamischen Effekte zu gewährleisten. Wider der Erwartung weisen die experimentellen Daten eine 7-Sigma-Diskrepanz zu aktuellen theoretischen Vorhersagen auf. Die Ursache für diese Diskrepanz ist gegenwärtig unverstanden und wirft grundsätzliche Fragen zu unserem Verständnis der Physik starker Felder auf.

Ullmann J. et al. (2017): High-precision hyperfine measurements in Bismuth challenge bound-state strong-field QED. Nat. Comm. 8, S. 15484, DOI: 10.1038/ncomms15484

Design, Bau und Inbetriebnahme von Ionendetektoren für CRYRING@ESR

Als erste Großanlage des gegenwärtig im Bau befindlichen Beschleunigerkomplexes FAIR ist 2017 die Speicherring-/Synchrotronanlage CRYRING in Betrieb gegangen. Das damit eröffnete Forschungsfeld macht die Verfügbarkeit robuster Ionendetektoren zur detaillierten Untersuchung von Umladungsprozessen unerlässlich. Als schnelle, single-hit-fähige und gleichzeitig kostengünstige Lösung wurde von der Arbeitsgruppe ein Detektor entwickelt, in dem Kristallszintillatoren zum Ionennachweis eingesetzt werden. Eine Charakterisierungsmessung hat die Eignung des Konzepts in allen Punkten bestätigt und eine Zerstörungsschwelle von etwa 10^{13} Ionen/cm² festgestellt. Das für den Einsatz an CRYRING optimierte, UHV-fähige System wird Anfang 2018 zur Verfügung stehen.

Pfäfflein P. (2017): Entwicklung und Aufbau eines Teilchendetektors für erste Experimente am Ionenspeicherring CRYRING. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena



Abb. 1. Blick in die neue Experimentierhalle des CRYRING-Synchrotrons bei FAIR.
Foto: Michael Lestinsky.

Hochintensitäts-Laser-Experimente an gespeicherten Ionen

HILITE (High-Intensity Laser-Ion Trap Experiment) ist eine im Aufbau befindliche Penning-Falle zum Speichern von hochgeladenen Ionen, um sie in einem wohldefinierten Zustand zu präparieren. Die Geometrie der Falle bietet dabei die Möglichkeit, einen hochintensiven Laserpuls in die Falle zu fokussieren. Zusätzlich kann mit diesem Aufbau die Zahl der gespeicherten Teilchen gemessen werden – sowohl vor als auch nach dem Laserbeschuss. So können absolute Querschnitte bei der Laser-Ionen-Wechselwirkung bestimmt werden. Das System ist daneben verhältnismäßig einfach zu bewegen und kann so leicht mit unterschiedlichen Großlasern, wie PHELIX in Darmstadt, POLARIS in Jena und FLASH in Hamburg vereinigt werden.

Vogel M. et al. (2012): Beam Interactions with Materials and Atoms. Nucl. Instrum. Meth. B 285, S. 285, DOI: 10.1016/j.nimb.2012.05.001

Ringleb S. et al. (2015): HILITE—ions in intense photon fields. Phys. Scr. 2015, S. 014067, DOI: 10.1088/0031-8949/2015/T166/014067



Abb. 2. Fotografie der HILITE-Penningfalle
Foto: Manuel Vogel, GSI und HI Jena.

Entwicklung kryogener Mikrokalorimeter-Detektoren für Hochpräzisions-Röntgenspektroskopie

Neueste Entwicklungen im Bereich kryogener Kalorimeter haben pixelierte metallisch-magnetische Mikrokalorimeter wie die maXs-Detektoren, die im Rahmen einer Kollaboration mit dem KIT in Heideberg entwickelt wurden, zu einem besonders vielversprechenden Werkzeug für die Hochpräzisionsröntgenspektroskopie gemacht. Das Messprinzip, Teilchenenergien durch die temperatursensible Änderung der Materialmagnetisierung im Sensor zu detektieren, macht extrem niedrige Temperaturen notwendig (<20 mK), aufgrund derer Mikrokalorimeter eine außerordentlich hohe Energieauflösung erreichen ($E/\Delta E_{\text{FWHM}} \approx 3000$). Gleichzeitig weisen sie eine hohe Nachweiseffizienz in einem weiten spektralen Bereich auf (100 eV – 100 keV) und eignen sich daher besonders gut für Spektroskopie-Experimente wie die Messungen der Lamb-Verschiebung zur Bestimmung von QED-Effekten.

Hengstler D. et al. (2015): Towards FAIR: first measurements of metallic magnetic calorimeters for high-resolution x-ray spectroscopy at GSI. Phys. Scr. T166, S. 014054, DOI: 10.1088/0031-8949/2015/T166/014054

Enss C. et al. (2000): Metallic Magnetic Calorimeters for Particle Detection. J. Low Temp. Phys. 121, S. 137, DOI: 10.1023/A:1004863823166

Kempf S. et al. (2015): Direct-current superconducting quantum interference devices for the readout of metallic magnetic calorimeters. Supercond. Sci. Technol. 28, S. 045008, DOI: 10.1088/0953-2048/28/4/045008

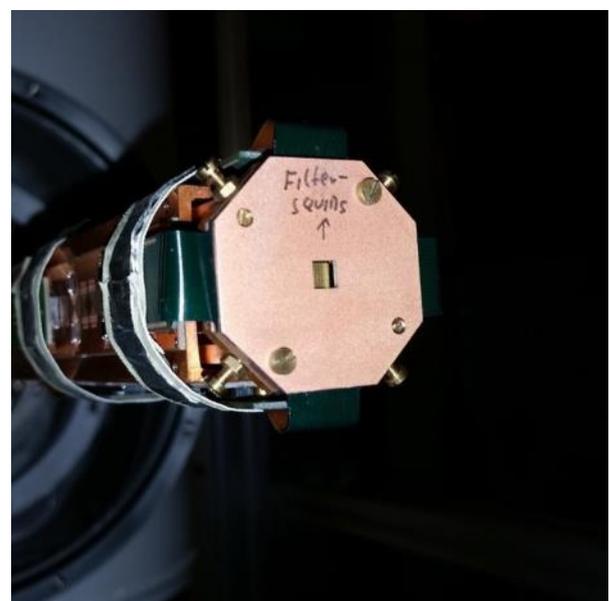


Abb. 3. Ansicht eines maXs-Mikrokalorimeters.
Foto: Marc Oliver Herdrich.

Lehrstuhl für Laserteilchenbeschleunigung Prof. Dr. Matt Zepf

Forschungsschwerpunkte

- **Schwerpunkt 1: Laser-Teilchenbeschleunigung**
Entwicklung und Anwendung von neuartigen, lasergetriebenen Beschleunigern.
- **Schwerpunkt 2: Intensive Attosekunden-Pulse**
Relativistisch oszillierende Plasmaspiegel konvertieren intensives optisches Laserlicht in Attosekunden Lichtblitze zur Erforschung der Natur auf den kürzesten Zeitskalen.
- **Schwerpunkt 3: Nichtlineare Quantenelektronendynamik**
Erforschung des Quantenvakuums und der Dynamik geladener Elementarteilchen in extremen Laserfeldern.
- **Schwerpunkt 4: Entwicklung Ultraintensiver Laserquellen**
Mit einer Spitzenleistung von bis zu einem Petawatt (10^{15} W) gehören unsere Hochleistungslaser zu den leistungsstärksten Lasern überhaupt. Ihre fortwährende Entwicklung für Experimente bildet die Grundlage für Experimente von mehreren Arbeitsgruppen.

An die Grenzen des Machbaren

Die Erforschung der Natur unter extremen Bedingungen ist seit jeher ein Treiber der wissenschaftlichen Entwicklung. Ob extreme Temperaturen, Drücke oder Felder, oft haben solche Bedingungen zur Entwicklung bestehender Theorien beigetragen und zur Entdeckung neuer Phänomene geführt. Der gemeinsame Nenner unserer Forschung sind die extremen Lichtintensitäten, die durch Ultrakurzpulslaser möglich werden. Sie erlauben die Entwicklung von Röntgenblitzen zur Erforschung der schnellsten physikalischen Phänomene, neuartige Teilchenbeschleuniger mit weitreichenden Anwendungen sowie die Erforschung von fundamentalen Prozessen in der Quantenelektrodynamik.

Forschungsprojekt 1: Laser-Teilchenbeschleunigung – Entwicklung und Anwendung

Intensive Laser erzeugen extreme Feldstärken in ionisierten Gasen (Plasmen) und beschleunigen somit geladene Elementarteilchen auf extrem kurzen Strecken auf hohe Energien. Diese neue Generation von Teilchenbeschleunigern ermöglicht es z.B. Elektronen auf Wegstrecken von Zentimetern (anstatt der üblichen Kilometer!) auf Energien >1 GeV zu bringen.

Diese Teilchenstrahlen zeichnen sich zudem durch hohe Strahlqualität und besonders kurze Pulse aus – die insbesondere für Protonen und schwere Kerne einzigartig sind.

Solch kompakte Beschleuniger ermöglichen es neuartige Röntgen- und Gammastrahlungsquellen mit extrem kurzen Pulsen zu erzeugen.

Protonenpulse mit wenigen Picosekunden Dauer erlauben zum ersten Mal direkte Einblicke in die Wechselwirkung von Ionen mit Materie auf der natürlichen Zeitskala dieser Prozesse. Das tiefere Verständnis von solchen Prozessen ist nicht zuletzt auch für die Krebstherapie von Bedeutung, wo Ionenstrahlen in vielen Fällen zu den schonendsten Behandlungsmodalitäten zählen.

Dromey, B.; Coughlan, M.; Senje, L.; et al. (2016) Picosecond metrology of laser-driven proton bursts, NATURE COMMUNICATIONS DOI: 10.1038/ncomms10642

Sarri, G.; Corvan, D. J.; Schumaker, W.; et al. (2014) Ultrahigh Brilliance Multi-MeV gamma-Ray Beams from Nonlinear Relativistic Thomson Scattering, PHYSICAL REVIEW LETTERS DOI: 10.1103/PhysRevLett.113.224801

By: Qiao, B.; Zepf, M.; Borghesi, M.; et al. Stable GeV Ion-Beam Acceleration from Thin Foils by Circularly Polarized Laser Pulses, PHYSICAL REVIEW LETTERS DOI: 10.1103/PhysRevLett.102.145002

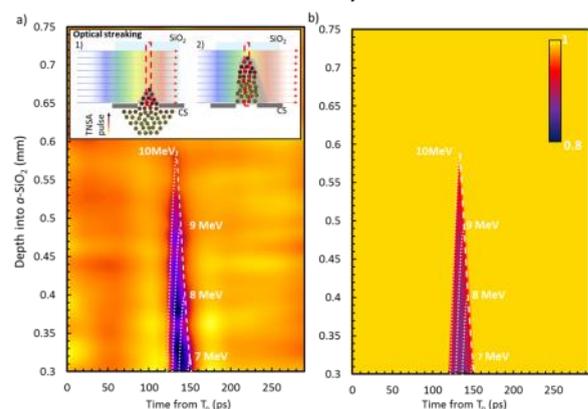


Abb. 1: Bestrahlung von Quarzglas mit einem kurzen Protonenpuls. Die experimentellen Daten (a) zeigen dass die Transparenz des Glases in wenigen Picosekunden abnimmt und sich wieder erholt. (b) numerische Simulation der Dynamik. [Dromey 2016, Nature Comms]

Forschungsprojekt 2: Intensive Attosekunden-Pulse

Lichtblitze mit extrem kurzen Pulsen ermöglichen es natürliche Prozesse mit nie dagewesener Auflösung zu erforschen. Die kürzesten Pulse sind derzeit mit Lichtblitzen im extremen UV möglich und werden in Attosekunden gemessen. Vorstellen lässt so eine kurze Zeitdauer durch die Wegstrecke die Licht in dieser Zeit zurücklegt. Während in einer Sekunde Licht 300.000 km zurücklegt, so ist es in einer Attosekunde (10^{-18} s) nur die Breite eines Atoms. Ziel der Forschung ist es die Erzeugung intensiver Attosekundenpulse mithilfe von relativistischen Plasmen zu erzeugen und zu charakterisieren.

By: Yeung, M.; Rykovanov, S.; Bierbach, J.; et al. (2017) Experimental observation of attosecond control over relativistic electron bunches with two-colour fields NATURE PHOTONICS DOI: 10.1038/NPHOTON.2016.239

By: Yeung, M.; Bierbach, J.; Eckner, E.; et al. (2016) Noncollinear Polarization Gating of Attosecond Pulse Trains in the Relativistic Regime PHYSICAL REVIEW LETTERS DOI: 10.1103/PhysRevLett.115.193903

By: Dromey, B.; Adams, D.; Hoerlein, R.; et al. (2009) Diffraction-limited performance and focusing of high harmonics from relativistic plasmas NATURE PHYSICS DOI: 10.1038/NPHYS1158

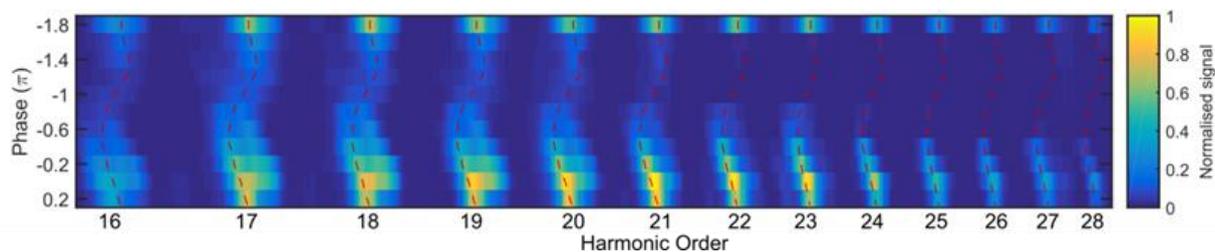


Abb. 2: Intensität der Strahlung im extremen UV als Funktion der relativen Phase zwischen einem infraroten und blauen Laserstrahl. Die phasenabhängige Modulation der Harmonischen (vielfachen der infraroten Laserfrequenz) ist auf die Manipulation der Plasmaelektronen mit Attosekundengenauigkeit zurückzuführen. [Yeung, Nature Photonics (2017)]

Forschungsprojekt 3: Nichtlineare Quantenelektrodynamik

Die extremen Felder im Brennpunkt von Hochleistungs-Kurzpulslasern ermöglichen es, fundamentale Vorhersagen der Quantenelektrodynamik zu prüfen. Im Blickpunkt stehen die Paarerzeugung im Vakuum, Vakuumdoppelbrechung und die vollständige Beschreibung der Bewegungsgleichung geladener Teilchen im Laserfeld. Derzeit werden die experimentellen und konzeptionellen Grundlagen für diese Projekte geschaffen.

So ist die Erzeugung von Materie durch zwei Lichtquanten im Vakuum (z.B. ein Elektron/Positron-Paar) ist bis heute nicht experimentell gelungen. Die Verfügbarkeit von extremen Lichtblitzen ermöglicht dies direkt und ist wird im Jahr 2018 zum ersten Mal in Angriff genommen.

Ein weiteres fundamentales Feld ist das der Licht/Licht Streuung und Vakuum-Doppelbrechung.

In der klassischen Physik erfolgt durch das Vakuum keine Kopplung zweier Lichtstrahlen und auch keine Modifikation eines einzelnen Starken Lichtstrahls – im Gegensatz zur Quantenelektrodynamik die z.B. messbare Licht-an-Licht Streuung und Doppelbre-

K. Poder, M. Tamburini et al. (2017) Evidence of strong radiation reaction in the field of an ultra-intense laser, arXiv:1709.01861

Karbstein, F.; Gies, H.; et al., (2015) Vacuum birefringence in strong inhomogeneous electromagnetic fields, PHYSICAL REVIEW D DOI: 10.1103/PhysRevD.92.071301

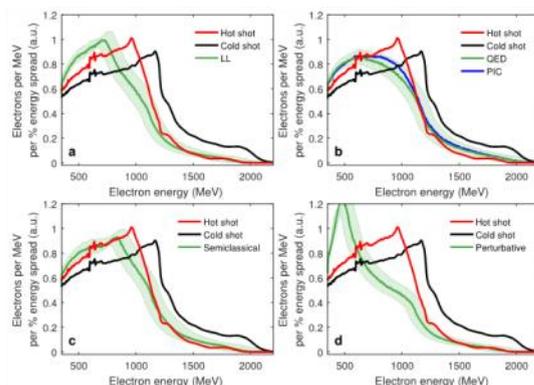


Abb. 3: Experimentelle Ergebnisse zur Bewegungsgleichung von Elektronen in starken Laserfeldern. Verschiedene Modelle werden mit experimentellen Daten verglichen. Trotz der prinzipiell einfachen Fragestellung (einzelnes Elektron in einem externen Feld) ist Übereinstimmung zwischen den theoretischen Modellen und den experimentellen Ergebnissen bei diesen extremen Feldern noch nicht Perfekt und werden aktiv erforscht. [Poder, Arxiv (2017)]

AG für Attosekunden-Laserphysik Jun-Prof. Dr. Adrian Pfeiffer

Forschungsschwerpunkte

- Das Forschungsgebiet ist die Physik auf Zeitskalen im Bereich von Attosekunden (10^{-18} s). Beispiele wichtiger Prozesse, die innerhalb von Attosekunden ablaufen, sind kohärente Ladungsbewegungen in Atomen, Molekülen und Festkörpern, der Zerfall von Atomen mit Löchern in inneren Schalen, sowie Photoionisation.
- Das Interesse der Arbeitsgruppe liegt einerseits in fundamentalen Fragestellungen, wie der zeitaufgelösten Untersuchung von Elektronenbewegung, aber auch die Erzeugung von kurzen Pulsen im Ultraviolett (UV) und Vakuum-ultraviolett (VUV) sind wichtige Ziele.
- Die Grundlage sowohl für die Präparation dieser Prozesse als auch für deren Beobachtung liefern intensive Laserpulse, die aus nur wenigen optischen Zyklen bestehen.

Subzyklenaufgelöste nichtlineare Spektroskopie

Ziel dieses Projektes ist die Messung der nichtlinearen Ansprechzeit einer Probe (dünne Gläser, Kristalle oder Flüssigkeitsfilme), um die Grenzen für lichtinduzierte Signalverarbeitung zu erforschen. Solche Materialien haben eine Bandlücke im Bereich 5–10 eV und daher eine viel kürzere Ansprechzeit als Halbleiter. Durch nichtlineare Wechselwirkung von fundamentalen Lichtpulsen mit einem Medium werden zusätzliche Lichtpulse erzeugt, deren Zeitverlauf die nichtlineare Dynamik im Medium widerspiegelt. Eine Messung dieser Dynamik geschieht durch Rekombination der erzeugten Pulse mit den fundamentalen Pulsen (Abb. 1). Ein geeignetes optisches System

muss gleiche Pfadlängen für alle Pulse nach der Interaktion in der Probe gewährleisten, was normalerweise aufgrund von Oberflächenunregelmäßigkeiten der Optiken nicht möglich ist.

Hier werden Oberflächenunregelmäßigkeiten durch dynamische Translation und Rotation der optischen Komponenten kompensiert. Die nichtlineare Ansprechzeit wird durch Mittelung über viele Scans bestimmt.

Pati A. P., Wahyutama I. S., Pfeiffer A. N. (2015): Subcycle-resolved probe retardation in strong-field pumped dielectrics. *Nat. Commun.* **6**, 7745.

Leithold C. G., Reislöhner J., Leithold C. G., Gies, H., Pfeiffer A. N. (2017): Characterization of two ultrashort laser pulses using interferometric imaging of self-diffraction. *Opt. Lett.* **42**, 23

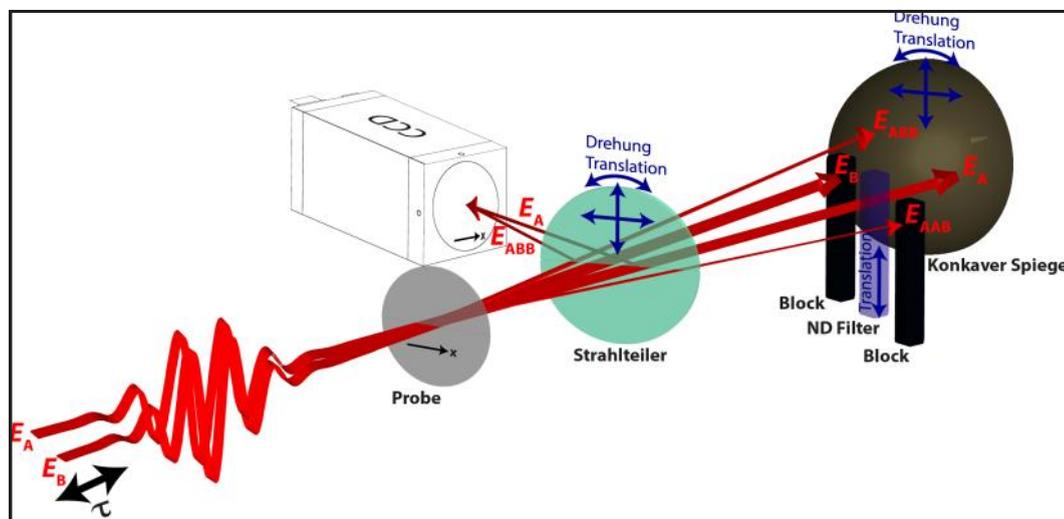


Abb. 1. Laserpulse (~ 5 fs) werden in eine Probe fokussiert und bilden ein Intensitätsgitter. Durch Nichtlinearität dritter Ordnung werden zusätzliche Pulse erzeugt. Ein Hohlspiegel refokussiert die Pulse. Die Phase des durch die fundamentalen und die erzeugten Pulse gebildeten Lasergitters kodiert die Differenz der Ankunftszeit.

Nichtkollineare Spektroskopie im Energiebereich 5 - 15 eV

Der Wellenlängenbereich mit Photonenenergien 5-15 eV ist für spektroskopische Methoden sehr wichtig, da Bindungsenergien von Valenzelektronen meist innerhalb dieses Bereichs liegen. Die Untersuchung vieler relevanter Prozesse, wie beispielsweise kohärenter Ladungsmigration, erfordert ultrakurze Laserpulse mit Photonenenergien in diesem Bereich.

Es gibt viele Herausforderungen bei der Erzeugung kurzer Laserpulse im Bereich 5 – 15 eV und deren Detektion. Die Erzeugung kurzer Pulse im UV/VUV Bereich wird normalerweise durch (extrem-) nichtlineare Frequenzkonversion eines fundamentalen Laserpulses erreicht. Das Standardverfahren zum Abtrennen des sehr intensiven fundamentalen Laserpulses von den erzeugten VUV Pulsen ist die Propagation durch einen dünnen Metallfilter, welcher transparent für die VUV Pulse ist und den fundamentalen Laserpuls absorbiert. Dieses Verfahren ist nicht anwendbar auf Pulse, die den gesamten Bereich 5 - 15 eV abdecken, da es kein geeignetes Metall gibt. Dielektrische Transmissionsfilter für den UV Bereich hingegen absorbieren sehr stark im VUV. Daher werden im vorliegenden Aufbau Methoden zum Abtrennen des fundamentalen Pulses verwendet, die auf einer nicht-kollinearen Strahlgeometrie basieren (Abb. 2, 3).

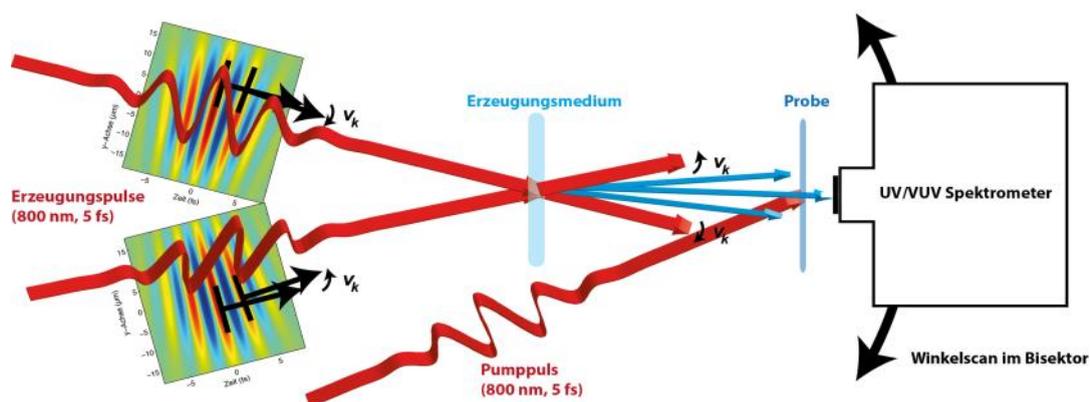


Abb. 2. Strahlengang zur Erzeugung von ultrakurzen Pulsen im Bereich 5 - 15 eV. Die fundamentalen Pulse (800 nm) werden nicht-kollinear in ein Erzeugungsmedium fokussiert.

Der erste Teil des Projekts befasst sich mit grundlegenden Fragen zur nichtlinearen Wechselwirkung im Erzeugungsmedium. Im Bereich 5 - 15 eV wird der Übergang von perturbativer Licht-Materie-Wechselwirkung (klassische nichtlineare Optik) zum Starkfeldregime (extreme nichtlineare Optik) erforscht.

Im zweiten Teil des Projekts liegt der Fokus auf den erzeugten Lichtpulsen, und es werden verschiedene Verfahren zur Isolierung von Attosekundenpulsen verfolgt, wie z.B. Raum-Zeit Anpassung der fundamentalen Pulse. Die erzeugten Pulse werden anschließend zur transienten Absorptionsspektroskopie verwendet.

Pati A. P., Reislöhner J., Leithold C. G., Pfeiffer A. N. (2017): Effects of the groove-envelope phase in self-diffraction. *J. Mod. Opt.* **64**, 1108.

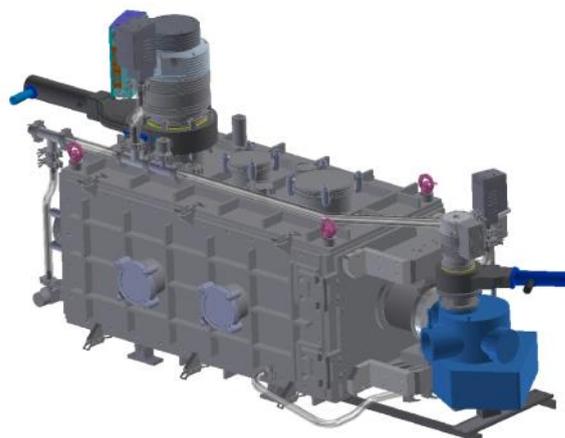


Abb. 3. Aufbau der Vakuumanlage. Das UV/VUV Spektrometer (blau) ist über einen Membran-balg mit der Hauptkammer verbunden und wird von einer motorisierten Verfahrereinheit geschwenkt.

Arbeitsgruppe Röntgenoptik Prof. Dr. Eckhart Förster

Forschungsschwerpunkte

Die Arbeitsgruppe Röntgenoptik ist eine der wenigen Gruppen, die in Deutschland auf diesem Gebiet aktiv sind. Sie verfügt über hervorragende Kompetenzen in der Kristallographie mit den entsprechenden Einrichtungen u.a. für Kristallbearbeitung und Feinstrukturanalyse. Große Bekanntheit erreichte die Gruppe mit Röntgenoptiken aus gebogenen Kristallen. Im Rahmen eines Verbundprojektes werden derzeit neue Designs entwickelt, um mit den neuartigen Mikrokalorimetern vernünftige Detektionsraumwinkel zu erreichen. Der Schwerpunkt der Arbeit hat sich jedoch auf Präzisions-Röntgenpolarimeter verlagert, die inzwischen in beachtlicher Breite erforscht, entwickelt und angewandt werden.

Präzisionspolarimetrie im Röntgenbereich

Ausgangspunkt der Aktivitäten war ein Projekt zum Nachweis der Doppelbrechung eines durch ein starkes Laserfeld polarisierten Vakuums. Unter Zugrundelegung aus heutiger Sicht optimistischer Annahmen sind dazu Röntgenpolarimeter mit einem Auslöschungsverhältnis (Reinheit) von 10^{-10} und einer Wellenlänge $<1\text{\AA}$ erforderlich.

Die besten Röntgenpolarimeter beruhen auf Bragg-Reflexion um 90° , also auf demselben Effekt, der zur Polarisation des Himmelslichtes führt. Durch mehrere 90° -Reflexion an den Innenwänden eines passend in einen Kristall geschnittenen Grabens oder Kanals – man spricht dann von Channel-Cuts – lässt sich die Polarisationsreinheit drastisch steigern, bis Reflexionen an mehreren Netzebenen, die zusammen auch eine 90° -Ablenkung bewirken, die erzielbare Reinheit begrenzt. Wir haben einen Weg gefunden, die Mehrstrahleffekte zu minimieren und dadurch schon vor fast 10 Jahren die Polarisationsreinheit um nahezu einen Faktor 100 gegenüber dem Stand der Technik verbessert.

Wie nicht anders zu erwarten, hat diese sprunghafte Verbesserung der Polarisationsreinheit zu einer Reihe von Anwendungen von der

Festkörperphysik bis hin zur Röntgen-Quantenoptik geführt. Bei letzterer erreicht man das Regime der starken Kopplung mit Hilfe der Kernresonanz. Bisher war die Trennung der kernresonanten Photonen von der viele Größenordnungen stärkeren anregenden Synchrotronstrahlung nur durch zeitliche Diskrimination möglich, während dies nun direkt mit Polarimetern gelingt. Dies hat einige vielbeachtete Ergebnisse in der Röntgen-Quantenoptik ermöglicht.

Eine andere Anwendung ist die spektral aufgelöste Polarimetrie, die im Röntgenbereich nahezu Neuland ist. Die Bedeutung der Technik wird aber sofort klar, wenn man bedenkt, dass es damit gelingen kann, die Ausrichtung der Elektronenorbitale in Festkörpern zu bestimmen. Bei nahezu allen Anwendungen von Channel-Cuts in der Röntgenpolarimetrie ist ein zentrales Problem, dass jeder gegebene Kristall Präzisionspolarimetrie nur bei wenigen diskreten Wellenlängen zulässt. Wir haben unsere Entwicklungsarbeit daher weit über das ursprünglich ausschließlich verwendete Silizium ausgedehnt, unter anderem auf Germanium und zuletzt auf Quarz, das besonders viele geeignete Reflexe bietet.



Röntgenpolarimetrie zum Nachweis starker Kopplung zwischen Röntgenphotonen und Eisen-Vielschichtsystemen. Links: Röntgenpolarisator; Mitte: Silizium Channel-Cut Kristall als zentrales Bauteil des Polarisators; Rechts: Nachweis der starken Kopplung, Vergleich von Simulation und Messung der Abhängigkeit des Spektrums der kernresonanten Photonen vom Einfallswinkel der Strahlung auf die Schichtstruktur.

Präzisionspolarimeter mit Diamanten

Die erreichbare Polarisationsreinheit kann durch eine Vielzahl von Effekten limitiert werden, wobei derzeit die endliche Divergenz von Synchrotronstrahlen und die bereits erwähnten Mehrstrahleffekte im Zentrum der Forschung stehen. Nachdem Röntgen-FELs und die nächste Synchrotron-Generation über eine deutlich reduzierte Divergenz verfügen bzw. verfügen werden, arbeiten wir daran, nachzuweisen, dass unsere besten Polarimeter divergenz-begrenzt sind, um danach Polarimeter zu entwickeln, die mit den neuen Röntgenquellen noch höhere Polarisationsreinheit liefern. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass am Hamburger FEL der Nachweis der Vakuum-Doppelbrechung gelingen kann.

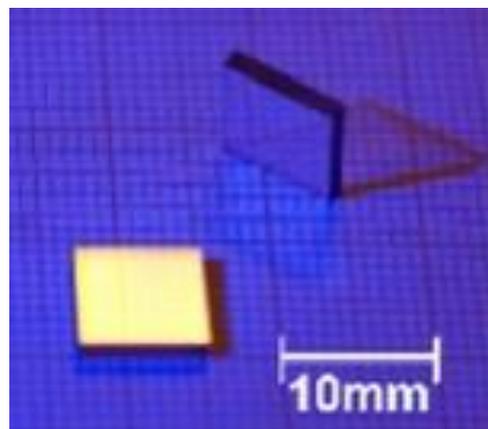
Entscheidend ist dazu, die Mehrstrahlfälle zu unterdrücken. Am besten gelingt dies mit Diamant aufgrund der niedrigen Ordnungszahl Z und aufgrund der geringen Gitterkonstante. Andere physikalischen Eigenschaften, wie geringe Röntgenabsorption, hohe Wärmeleitfähigkeit und hohes Röntgenreflexionsvermögen, die Diamant auch in der Röntgenphysik zu einem einzigartigen Material machen, treten hinzu. Tatsächlich werden Diamanten schon heute als Monochromatorkristalle an Synchrotrons, als Material für Phasenplatten, als Strahlteiler und als Seeding-Kristall an FELs eingesetzt.

Die Herstellung von Channel-Cuts aus Diamant ist anders als bei Silizium natürlich keine Option. Vielmehr muss die Innenwand des Grabens durch präzise justierte einzelne Diamant-Kristallplättchen nachgebildet werden, man spricht von einem Quasi-Channel-Cut (QCC). Dazu musste ein spezieller Kristallhalter entwickelt werden, der überwiegend aus Invar-Stahl gefertigt ist, um die thermische Ausdehnung zu minimieren. Wie in der Abbildung zu sehen, ist der erste Kristall (links) fixiert, während der zweite (rechts) an einer Spiegelhalterung befestigt ist, die eine parallele Ausrichtung beider Kristalle ermöglicht. Die präzise Justage der beiden Kristalle zueinander erfolgt durch ein Piezoelement.

Bei einer Strahlzeit an der European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) konnte bei einer Photonenenergie von 9838,75eV eine Polarisationsreinheit von $8.9 \cdot 10^{-10}$ nachgewiesen werden. Das Resultat ist aus zwei Gründen bemerkenswert: Erstens wurde es mit nur zwei Kristallreflektionen erzielt, während bei Silizium 4 oder sogar 6 Reflektionen für eine vergleichbare Polarisationsreinheit erforderlich sind. Zweitens waren die Diamantkristalle alles andere als perfekte Kristalle. Inzwischen wurde ein QCC-Halter für vier Diamantplättchen entwickelt. Der Test dieses hochkomplexen Aufbaus am Synchrotron steht unmittelbar bevor.



Quasi-Channel-Cut-Halter mit Diamantkristallen



zwei CVD-Diamantplättchen

Otto-Schott-Institut für Materialforschung (OSIM)



Institutsdirektoren:

Prof. Dr. –Ing. Lothar Wondraczek

Prof. Dr. rer. nat. Delia S. Brauer

(Standort Fraunhoferstr. 6, Chemisch-Geowissenschaftliche Fakultät)

Prof. Dr. rer. nat. habil. Dr. h.c. Markus Rettenmayr

Prof. Dr.-Ing. habil. Frank A. Müller

(Standort Löbdergraben 32, Physikalisch-Astronomische Fakultät)

Zur Physikalisch-Astronomischen Fakultät gehören folgende Arbeitsgruppen:

Lehrstuhl für Metallische Werkstoffe

Prof. Dr. rer. nat. habil. Dr. h.c. Markus Rettenmayr

Lehrstuhl für Materialwissenschaft

Prof. Dr. rer. nat. Klaus D. Jandt

Professur für Mechanik der funktionellen Materialien

Prof. Dr. Enrico Gnecco

Professur für Oberflächen- und Grenzflächentechnologien

Prof. Dr. –Ing. habil. Frank A. Müller

Professur für Computational Materials Science

Prof. Dr. rer. nat. habil. Marek Sierka

Lehrstuhl für Faseroptik und -sensorik (am IPHT Jena)

Prof. Dr. Markus A. Schmidt (siehe S. 110)

Adresse: Löbdergraben 32, 07743 Jena/ Fraunhoferstr. 6, 07743 Jena

Homepage: www.osim.uni-jena.de

Lehrstuhl Metallische Werkstoffe

Prof. Dr. Dr. h.c. Markus Rettenmayr

Forschungsschwerpunkte

- Im Rahmen von Untersuchungen der Thermodynamik und Kinetik von Phasenumwandlungen wird an (rascher) Erstarrung unter Schwerelosigkeit und an der komplexen Interaktion von Prozessen in steilen Temperaturgradienten gearbeitet.
- Grenz- und Oberflächen interessieren einerseits über ihre Beiträge zur Strukturbildung, andererseits über die Wechselwirkung mit der Umgebung und der Lebensdauer eines Werkstoffs.
- Transmissionselektronenmikroskopie wird zur Aufklärung von Strukturen auf feinsten Längenskala herangezogen, es werden aber auch die Auswertemöglichkeiten von Beugungsbildern erweitert.
- Die Entwicklung neuer oder Anpassung bekannter Legierungen für besondere Anforderungsprofile wird zusammen mit Industriepartnern durchgeführt

Thermodynamik und Kinetik von Phasenumwandlungen

Die Eigenschaften metallischer Werkstoffe sind mehr noch als über die Zusammensetzung über die Struktur definiert. Das Gefüge und seine Entstehung stehen im Zentrum der Arbeiten am Lehrstuhl. Die Spanne der Themen reicht dabei von grundlagenorientierten Fragestellungen (Erstarrung aus der Schmelze in Schwerelosigkeit) bis zu technischen Anwendungen mit Industriepartnern (Phasenselektion beim Erstarren von Aktivloten zum Fügen von Keramiken).

Erstarrung aus der Schmelze ist die erste Phasenumwandlung in der Geschichte fast jedes metallischen Werkstoffs bei seiner Entstehung. Während der Erstarrung bilden sich komplexe Strukturen wie z.B. Dendriten und Eutektika, die beim technischen Einsatz des Werkstoffs eine tragende Rolle spielen können. Moderne Prozesse erlauben immer höhere Abkühl- und Erstarrungsgeschwindigkeiten, wodurch das Gefüge in weiten Grenzen variiert werden kann. Dies geschieht einerseits durch eine Verfeinerung der



Abb. 1: Durch Simulationsrechnungen erzeugte Dendriten; Zelluläre Automaten führen zu unsymmetrischem Wachstum der Sekundärarme (links), die neu entwickelte Meshless Front Tracking Methode behebt dieses Problem.

strukturellen Längenskalen, da bei hohen Erstarrungsgeschwindigkeiten Transportprozesse nur über kürzere Distanzen erfolgen können, bevor der Werkstoff im festen Zustand ist. Bei bestimmten Geschwindigkeiten erfolgen aber auch qualitative strukturelle Übergänge, etwa wenn die Strukturbildung nicht durch die Diffusion der Legierungselemente, sondern allein durch den Wärmeentzug kontrolliert wird. Ebenso können mit raschen Prozessen häufig metastabile Zwischenzustände erreicht werden, die teilweise für einen Einsatz interessante Eigenschaften aufweisen. Das Gebiet der Erstarrung wird sowohl auf experimenteller als auch auf theoretischer Ebene bearbeitet (s. Abb. 1).

Besondere Gefüge und Eigenschaften entstehen, wenn ein Gemisch aus einer flüssigen und einer oder mehreren festen Phasen einem Temperaturgradienten ausgesetzt werden. Entsprechende Proben können im Temperaturgradienten gehalten oder aber bewegt werden und dadurch gerichtet erstarren. Bei geeigneter Prozessführung und Wahl der Legierungskonzentration trennen sich die stabilen kristallinen Phasen im Temperaturgradient räumlich voneinander. Dies erleichtert die Bestimmung ihrer Eigenschaften ganz entscheidend. Da die Einstellung des thermodynamischen Gleichgewichts dabei eine entscheidende Rolle spielt, lässt sich umgekehrt von der im Gradienten erstarrten Struktur auf die Thermodynamik und die entsprechenden Phasendiagramme zurückschließen. Dies wird am Lehrstuhl für die Bestimmung von Daten in Hochdurchsatzexperimenten durchgeführt.

Legierungsentwicklung

Eine Umsetzung der genannten Methoden und Effekte erfolgt z.B. für thermoelektrische Materialien mit besonders hoher Effizienz. Zwei thermoelektrische Materialien (ein n- und ein p-Halbleiter) können in einem Generator kombiniert werden und Wärme direkt in elektrischen Strom umwandeln. In einem laufenden DFG-Projekt wurde ein n-halbleitendes thermoelektrisches Material auf der Basis von Bi_2Te_3 mit weiteren Legierungselementen und mit einem angepassten Erstarrungsverfahren so optimiert, dass die für n-Halbleiter weltweit beste Gütekennzahl erreicht wurde. Legierungsentwicklung wird weiterhin an Lotlegierungen, Anodenmaterial für Lilonenakkus und ausscheidungshärtbaren Aluminiumlegierungen betrieben. Eine der Spezialitäten am Lehrstuhl ist die vollkommen sauerstoff- und wasserfreie metallographische Präparation von Proben zur Charakterisierung des Gefüges. Damit gelang es z.B. erstmalig, das Gefüge von Li-C-Legierungen sichtbar zu machen (Abb. 2).



Abb. 2: Gefüge einer Li-C-Interkalationsverbindung, präpariert unter Ausschluss von Sauerstoff unter Verwendung absolut wasserfreier Lubrikanten. Trotz der enormen technischen Bedeutung des Materials ist dies das erste veröffentlichte Gefügebild.

M. Drüe, M. Seyring, M. Rettenmayr, Phase Formation And Microstructure in Lithium-Carbon Intercalation Compounds During Lithium Uptake and Release, *Journal of Power Sources* **353** (2017) 58-66

M. Seyring, A. Simon, I. Voigt, U. Ritter, M. Rettenmayr, Quantitative Crystallographic Analysis of Individual Carbon Nanofibers Using High Resolution Transmission Electron Microscopy, *Carbon* **116** (2017)

Grenz- und Oberflächen

Bei fast allen Metallen, insbesondere aber bei Implantatmaterialien, stellt sich die Frage nach den korrosiven Eigenschaften, z.B. um die Lebensdauer abschätzen bzw. toxische Effekte vermeiden zu können. Ein wichtiger Schritt dabei ist es, Charakterisierungsverfahren der obersten Schichten eines Werkstoffs weiterzuentwickeln. Am Lehrstuhl werden oberflächliche Konzentrationsprofile mit hoher Tiefenauflösung per Glimmentladungsspektroskopie bestimmt. Daneben wurden Präparationstechniken entwickelt, mit deren Hilfe man senkrecht zur Oberfläche entnommene Proben ohne Strahlungsschäden bis zum obersten Nanometer einem Werkstoff entnehmen und somit auch strukturelle Daten mit höchster Genauigkeit gewinnen kann. Innere Grenzflächen spielen bei den thermoelektrischen Materialien eine bedeutende Rolle. Das Entwicklungsziel besteht darin, eine möglichst hohe elektrische Leitfähigkeit mit einer möglichst niedrigen Wärmeleitfähigkeit zu kombinieren. Innere Grenzflächen können dabei zur Streuung von Phononen beitragen. Je nach Natur der Grenzflächen treten aber weitere Effekte auf, weshalb sie gründlich charakterisiert werden müssen (s. Abb. 3).

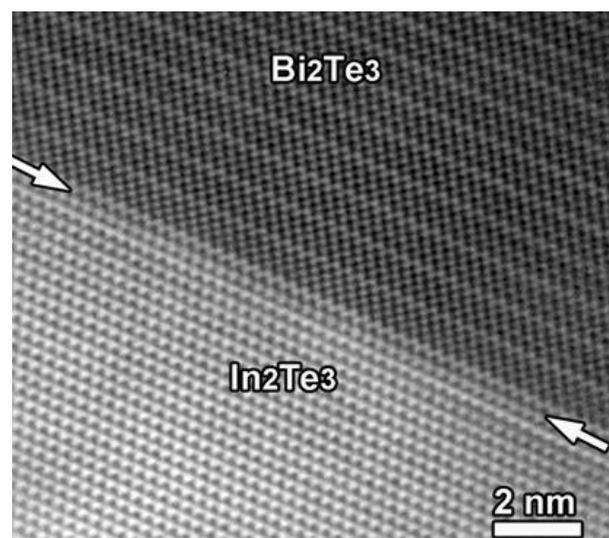


Abb. 3: Kohärente Grenzfläche in einem thermoelektrischen Material, aufgenommen mit dem Transmissionselektronenmikroskop in Hochauflösung.

Forschungsschwerpunkte

- Biomaterialien
 - Antimikrobielle Materialien für Gesundheits- und Mobilitätsanwendungen
 - Proteinadsorption auf nanostrukturierten Oberflächen
 - Materialien für Geweberegeneration: Bioaktive und biologisch abbaubare Knochenzemente
- Polymere
 - Funktionelle Nanomaterialien durch Selbstorganisation: Hybrid-Protein-Nanofasern
 - Polymerbasierte Nano-Wirkstofftransportsysteme mit maßgeschneiderten Eigenschaften
- Composites
 - Kohlenstoffbasierte (Graphen, Kohlenstoff-Nanoröhrchen) Nano-Composites mit kontrollierter räumlicher Anordnung
 - Mikrowellen-Polymerisation von Faserverbundwerkstoffen

Herstellung neuartiger Biomaterialien durch molekulare Selbstorganisation

Hybrid-Protein-Nanofasern (hPNF) sind aufgrund ihrer synergistischen biologischen und physikalischen Eigenschaften von großem Interesse für bioinspirierte Materialwissenschaft und biomedizinische Technik. Die Herstellung und Etablierung von hPNFs, die mehr als eine Art von Protein enthalten, waren bisher jedoch eine ungelöste Herausforderung.

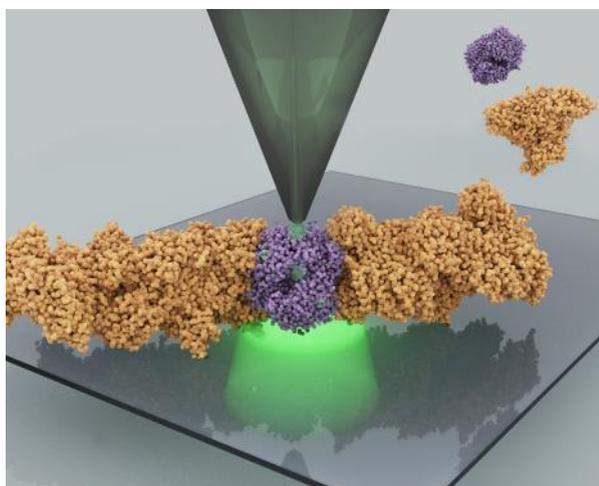


Abb. 1. Schematische Darstellung der Untersuchung von Albumin/Hämoglobin hPNFs mittels TERS. Die Raman-aktiven Schwingungsmoden der Häm-Gruppe im Hämoglobin (violett) ermöglichen es, die heterogene Zusammensetzung der Protein-Nanofaser nachzuweisen. Grafik: Izabela Firkowska-Boden.

In dem DFG Projekt „Neue funktionelle Materialien basierend auf selbstassemblierten Protein-Nanofasern: Erzeugung und Verständnis von Nanofasern“ haben wir zum ersten Mal gezeigt, dass sich die zwei Plasmaproteine Albumin und Hämoglobin unter ethanolinduzierter Denaturierung zu hPNFs selbst assemblieren. Die treibenden Kräfte in diesem Bottom-up-Ansatz sind schwache hydrophobe Wechselwirkungen zwischen ähnlichen Aminosäuresequenzen der verschiedenen Proteine, die durch Konformationsänderungen freigesetzt wurden.

Zusammen mit der Forschungsgruppe von Prof. Dr. Volker Deckert (IPC, SDU Jena) waren wir mit Hilfe von nano-spektroskopischen Messungen – der sogenannten Tip-enhanced Raman Spektroskopie (TERS) – in der Lage, die heterogene Natur der Proteinnanofasern nachzuweisen.

Unsere bisherigen Untersuchungen haben den Grundstein gelegt, die Entstehungsmechanismen von hPNFs zu verstehen. Dies eröffnet eine Vielzahl von Möglichkeiten, neue funktionelle Materialien zu entwickeln, die auf natürlichen Stoffen und Bauprinzipien basieren.

[1] Helbing C., et al. (2018): Protein Handshake on the Nanoscale: How Albumin and Hemoglobin Self-Assemble into Nanohybrid Fibers, ACS Nano.

[2] Wang G. and Jandt K.D. (2018): Protein-mimetic peptide nanofibers: motif design, self-assembly synthesis, and sequence-specific biomedical applications. Progress in Polymer Science.

Identifizierung von materialbasierten Risikofaktoren der Infektionsübertragung im Luftverkehr

Im zivilen Luftverkehr werden die Verkehrsnetze erweitert, um dem ständig wachsenden Passagieraufkommen gerecht zu werden. Zum Beispiel werden bei Einzelverbindungen immer größere Reichweiten erzielt und das bei ständig ansteigenden Reisegeschwindigkeiten. Es verwundert daher nicht, dass sich verschiedenste Krankheitserreger schneller und in größerer Anzahl als je zuvor ausbreiten können. Um diese Infektionsketten im Luftverkehr zu verstehen und zu unterbrechen wurde das BMBF Verbund-Projekt HYFLY (InfectControl 2020, www.infectcontrol.de) unter Koordination von Prof. Dr. Klaus D. Jandt ins Leben gerufen.

Mit materialwissenschaftlichem Know-how untersuchen wir in diesem Projekt mit sieben Partnern die Zusammenhänge zwischen Materialeigenschaften (Struktur-Eigenschafts-Beziehung) und mikrobieller Kontamination. Insbesondere befasst sich der Lehrstuhl mit der Frage, wie sich Veränderungen von Materialoberflächen in Folge von Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen auf die mikrobielle Besiedlungsneigung auswir-

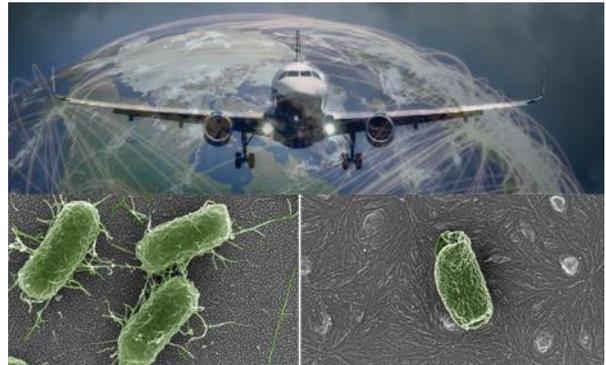


Abb. 2. Durch gezielte Beeinflussung der Oberflächenstrukturen von Materialoberflächen kann die mikrobielle Adhäsion gesteuert bzw. reduziert werden [3]. Grafik: Izabela Firkowska-Boden.

ken. Die hier gefundenen Erkenntnisse werden zur Entwicklung von Musterlösungen für neue Werkstoffe verwendet, die sich z.B. durch eine deutliche reduzierte Keimhaftung auszeichnen.

[3] Lüdecke C., et al. (2016): Nanorough titanium surfaces reduce adhesion of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* via nano adhesion points. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, DOI. 10.1016/

Veranstaltung des europäischen Symposiums für Biomaterialien Euro BioMAT

Die Euro BioMat ist eine der führenden internationalen Konferenzen auf dem Gebiet der Biomaterialien und der bioinspirierten Materialien in Europa. Organisiert von der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. und ihrem Fachausschuss Biomaterialien unter Leitung von Prof. Dr. Klaus D. Jandt findet die Euro BioMat alle zwei Jahre in der Kulturstadt Weimar statt.

Dieses zweitägige Symposium richtet sich an das wachsende Interesse von Wissenschaft, Wirtschaft und Medizin unter Berücksichtigung der verschiedenen Aspekte der Herstellung, Charakterisierung, Prüfung und Anwendung von



Abb. 3. Wissensteilung auf der Euro BioMat. Foto: Izabela Firkowska-Boden.

Biomaterialien. Die Euro BioMat bringt mehr als 200 Experten auf den eng verwandten Gebieten der Biomimetik, der Biomineralisation, und der Biopolymere zusammen.

Zusätzlich organisiert regelmäßig der Lehrstuhl das Topic

Biomaterialien auf dem MSE Kongress in Darmstadt und in Kooperation mit dem Biomateriallabor der Jenaer HNO-Klinik einen μ CT-Workshop.

Professur für Mechanik der funktionellen Materialien

Prof. Dr. Enrico Gnecco

Forschungsschwerpunkte

- Nanotribologie von mineralischen Oberflächen, organischen Kristallen und 2D-Materialien
- Manipulation von organischen Molekülen, Nanopartikeln und heteroepitaxial gewachsenen Nanoinseln
- Nanoskalige Charakterisierung von abrasiven Verschleiß und Kontakalterung
- Stressinduzierte Nanostrukturierung von Polymeroberflächen
- Minimalistische Modellierung atomarer Reibung und Nanomanipulation

Reibung auf der atomaren Skala

Wir untersuchen die Reibungseigenschaften isolierender Oberflächen (Carbonate, Sulfate, Oxide und Halogenide), Graphen und organischer Kristalle bis in den atomaren Bereich. Rasterkraftmikroskopie (AFM) Experimenten und Molekulardynamik (MD) Simulationen haben gezeigt, dass Wasser eine sehr geeignete Umgebung für diese Studien ist, aufgrund der Abwesenheit von Kapillarkondensation, die normalerweise unter Luftbedingungen stattfindet [1]. Besonders interessant ist die Beziehung zwischen der Reibungsanisotropie und der Kristallsymmetrie der Substrate [2,3]. In diesem Zusammenhang wollen wir heterogene Strukturen wie koexistierende Phasendomänen heteroepitaxial gewachsener Nanoinseln simultan auflösen. Das ist wichtig, um die reziproke Orientierung benachbarter Korngrenzen zu

charakterisieren (in Bezug auf die optischen Eigenschaften der Materialien) oder die Struktur von metall-anorganischen Verbindungen bei Umweltanwendungen zu charakterisieren, die gebildet werden, wenn verunreinigtes Wasser in Kontakt mit ausgewählten mineralischen Oberflächen kommt.

[1] J.G. Vilhena et al. (2016): Atomic-scale sliding friction on graphene in water. ACS Nano, DOI: 10.1021/acsnano.5b07825

[2] R. Alvarez-Asencio et al. (2017): Molecular-scale shear response of the organic semiconductor β -DBDCS (100) surface. Phys. Rev. B, DOI: 10.1103/PhysRevB.96.115422

[3] A. Perez-Rodriguez et al. (2017): A molecular-scale portrait of domain imaging in organic surfaces. Nanoscale, DOI: 10.1039/C7NR01116D

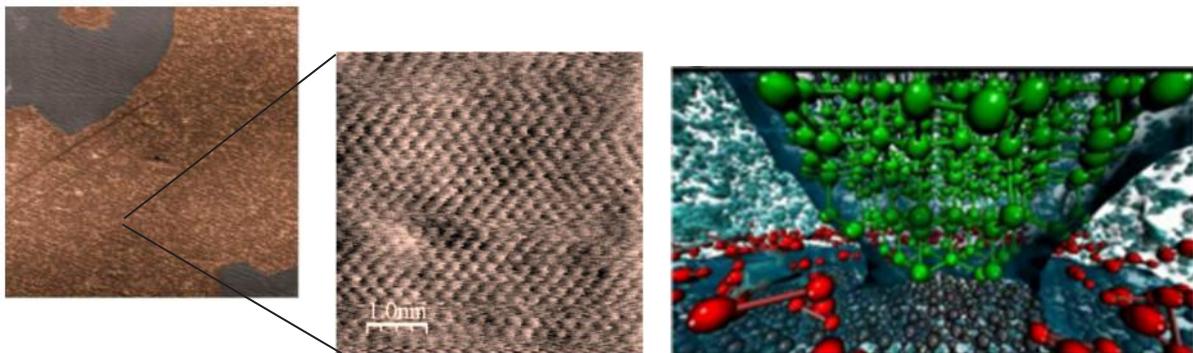


Abb. 1. Reibung auf atomarer Ebene auf einer Graphenschicht, die auf Kupfer gewachsen ist, wie durch in Wasser abgebildet, und MD-Simulationen des Gleitprozesses [1].

Nanomanipulation

Die Gleitbewegung von Nanoobjekten wie Metallclustern, organischen Nanokristallen und sogar einzelnen Molekülen, die elastisch bewegt werden, kann mithilfe der AFM-basierten Nanomanipulation untersucht werden. Auf der Nanoskala ist das kantengetriebene Frenkel-Kontorova-Modell sehr gut geeignet, um die Stick-Slip-Reaktion der Objekte und ihre Ablösung vom Substrat zu charakterisieren. Mit diesem Modell konnten wir die Bewegung von Graphen-Nanobändern auf Gold [4] und von Porphyrinmolekülen auf Kupfer [5] reproduzieren, und die Stick-Slip-Bewegung einzelsträngiger DNA auf Graphen vorhersagen [6]. In dem nächsten Schritt konzentrieren wir uns auf Kommensurabilitätseffekte an der Grenzfläche zwischen Metall-Nanoinseln und MoS₂-Substraten mit interessanten Anwendungen für die Molekularelektronik auf Sicht (kontrollierte Positionierung von Nanoelektroden). Hier können MD-Simulationen erfolgreich mit minimalistischen Kollisionsmodellen kombiniert werden, um die experimentellen Ergebnisse zu interpretieren.

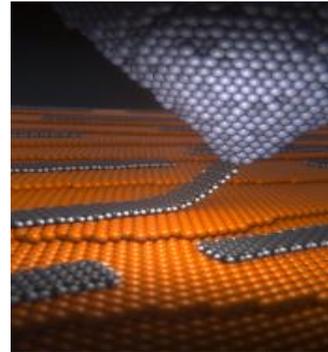


Abb. 2. Supersmierung von Graphen-Nanobändern, die auf einer Goldoberfläche angetrieben werden. [4]

[4] S. Kawai et al. (2016): Superlubricity of graphene nanoribbons on gold surfaces. *Science*, DOI: 10.1126/science.aad3569

[5] R. Pawlak et al. (2016): Single-molecule tribology: Force microscopy manipulation of a porphyrin derivative on a copper surface. *ACS Nano*, DOI: 10.1021/acsnano.5b05761

[6] G. Vilhena et al. (2017): Stick-slip motion of ssDNA over graphene. *J. Phys. Chem. B*, DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b06952

Abrasiver Verschleiß und Kontaktalterung im Nanobereich

Ein drittes Thema ist die Überwachung der Entwicklung nachgiebiger Oberflächen, die durch eine Nanospitze abgekratzt und strukturiert werden. Auch in diesem Zusammenhang haben wir Modelle entwickelt, die die Bildung von Wellenmustern auf amorphen Oberflächen und die Zunahme der Reibung an einem Kristall als Ergebnis von „Kontaktalterungseffekten“ vorhersagen, die experimentell vollständig bestätigt werden [7]. Ein wichtiger Teil dieses Projekts ist auch die Identifizierung physikalischer Methoden (z.B. Ultraschallvibrationen, die beim Kratzen angewendet werden), um Oberflächenschäden zu reduzieren [8]. Zu dieser Forschungsrichtung gehört auch der Einfluss von Oberflächen-Nanostrukturen auf die Adhäsion von Nanopartikeln und sogar von organischen Systemen (z.B. Stammzellen) [9].

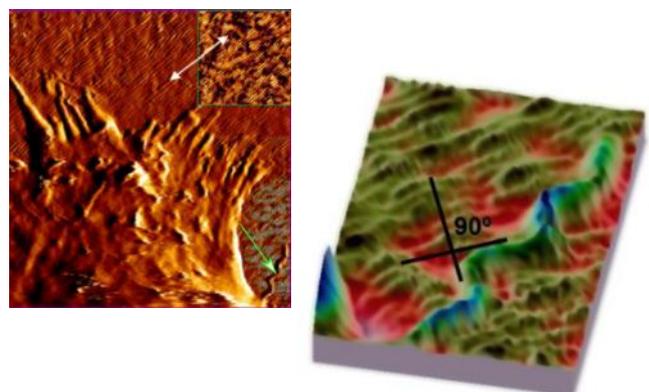


Abb. 3. Kontakt zwischen einer neuralen Stammzelle und einer gewellten Glasoberfläche. Zu beachten ist die Zickzack-Anordnung der Filopodien über das Wellenmuster [9].

[7] J.J. Mazo et al.: (2017) Time strengthening of crystal nanocontacts. *Phys. Rev. Lett.*, DOI: 10.1103/PhysRevLett.118.246101

[8] P. Pedraz et al. (2015): Controlled suppression of wear on the nanoscale by ultrasonic vibrations. *ACS Nano*, DOI: 10.1021/acsnano.5b02466

[9] P. Pedraz et al. (2016): Adhesion modification of neural stem cells induced by nanoscale ripple patterns. *Nanotechnology*, DOI: 10.1088/0957-4484/27/12/125301

Professur für Oberflächen- und Grenzflächentechnologien

Prof. Dr.-Ing. Frank A. Müller



Forschungsschwerpunkte

- Verwendung von CO₂- und Ultrakurzpulslasern zur Herstellung von Oberflächen- und Volumenstrukturen mit spezifischen funktionellen Eigenschaften für Anwendungen in der Optik, Energietechnik und als Biomaterial.
- Gasphasen-Kondensation funktioneller keramischer Nanopartikel (NP) mittels CO₂-Laservaporisation (LAVA): ZrO₂/Al₂O₃-NP für biokompatible Dispersionskeramiken mit herausragenden mechanischen Eigenschaften, ferri- und supermagnetische Eisenoxid-NP bzw. Eisenoxid-NP in einer amorphen Siliziumdioxid-Matrix als MRT-Kontrastmittel, für Hyperthermie und Drug-Targeting, dotierte NP als Fluoreszenzmarker für das Bioimaging und Basis aktiver Lasermedien, NP keramischer Halbleiter (z.B. ZnO, TiO₂) für die Umwelt- und Energietechnik.
- Bioinspirierte Materialien (Biomineralisation, biomimetische Oberflächen, Strukturhybride), Selbstheilung von Calciumphosphatzementen.
- Photolumineszenzspektroskopie, photoakustische Messtechnik und Untersuchungen zur photokatalytischen Aktivität von Halbleiter-NP.

Herstellung funktioneller Materialoberflächen durch Laserstrukturierung

Ultrakurzpulslaser bieten ein flexibles und vielseitiges Werkzeug zur präzisen Herstellung von Mikro- und Nanostrukturen auf Materialoberflächen. Der Fokus der Untersuchungen liegt hierbei auf laser-induzierten periodischen Oberflächenstrukturen („laser-induced periodic surface structures“; kurz: LIPSS), die in Folge der Bestrahlung verschiedenster Materialien (Metalle, Halbleiter, Dielektrika) mit extrem kurzen und intensiven Impulsen erzeugt werden können. Der grundlegende Mechanismus liegt in der selektiven Ablation der Oberfläche, die aus der Interferenz der einfallenden Laserstrahlung mit elektromagnetischen Oberflächenwellen resultiert. Die so erzeugten LIPSS zeichnen sich durch Strukturgrößen unterhalb der Wellenlänge der einfallenden Laserstrahlung aus und lassen sich in ihren spezifischen Eigenschaften über die Strahlungs- und Prozessparameter definiert beeinflussen. Die Ausrichtung der LIPSS wird durch die Polarisationsrichtung vorgegeben, weshalb ein wesentlicher Schwerpunkt der Untersuchungen in der definierten Steuerung des Polarisationszustandes während des Strukturierungsprozesses liegt. Ziel der Untersuchungen ist es, den Entstehungsprozess der Strukturen sowie die resultierenden Eigenschaften definiert zu steuern, um maßgeschneiderte funktionelle Oberflächen herzustellen. Die funktionellen Eigenschaften sind dabei

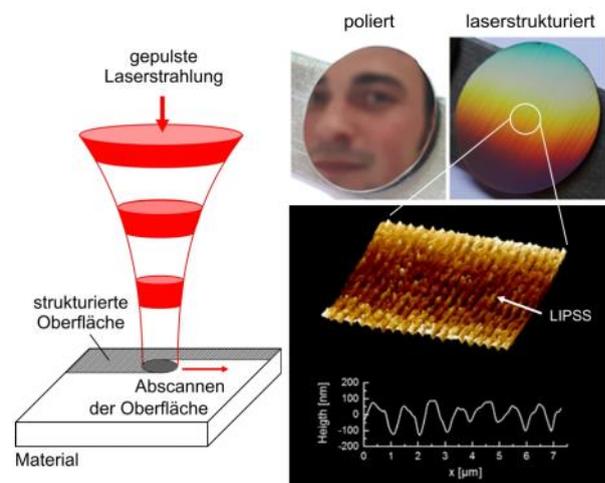


Abb. 1. LIPSS auf polierten Edelstahlsubstraten (Periode $\Lambda \approx 900$ nm).

vielfältig und reichen vom spezifischen Absorptions- bzw. Reflexionsverhalten der Oberfläche über deren definiert einstellbare Benetzbarkeit mit verschiedenen Flüssigkeiten bis hin zu Biomaterialoberflächen, auf denen sich die Adhäsion und Orientierung menschlicher Zellen gezielt steuern lässt.

Müller F.A., Kunz C., Gräf S (2016): Bio-Inspired Functional Surfaces Based on Laser-Induced Periodic Surface Structures. *Materials*, DOI: 10.3390/ma9060476.

Gräf S., Kunz C., Müller F.A. (2017): Formation and Properties of Laser-Induced Periodic Surface Structures on Different Glasses. *Materials*, DOI: 10.3390/ma10080933.

BMBF-Projekt NanoBEL: Biologische Elimination komplexer diagnostischer Nanopartikel

Eisenoxid-basierte magnetische Nanopartikel besitzen ein großes biomedizinisches Applikationspotenzial als Kerne komplex funktionalisierter Nanosysteme für bildgebende Diagnostik, Targeting und Hyperthermie. Mit dem LAVA-Verfahren (Abb. 2) werden superparamagnetische $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3@(\text{am})\text{SiO}_2$ -Nanopartikel (SiliFe-NP) entwickelt, die aus einer biokompatiblen, amorphen Silica- (SiO_2 -)Matrix mit Maghemit- ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -)Einschlüssen bestehen. Als reaktives Interface erleichtert die Silica-Oberfläche eine Funktionalisierung oder Wirkstoffbeladung und schirmt gleichzeitig, als Voraussetzung für die parentale Anwendung, die Eisenoxid-Oberflächen gegenüber biologischen Medien ab. Systematisch unter-

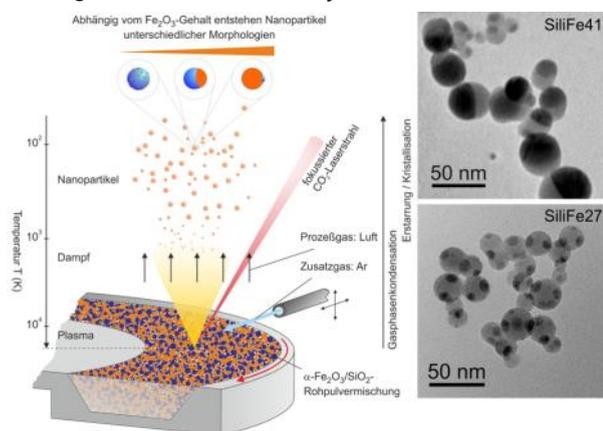


Abb. 2. LAVA-Verfahren zur Herstellung von SiliFe-NP.

sucht werden die Einflüsse von Eisenoxid-Gehalt und LAVA-Prozessregime auf die morphologischen und physikochemischen Eigenschaften der SiliFe-NP mit dem Ziel, unter biologischen Gesichtspunkten optimale Eigenschaften, d.h. maximaler Maghemit-Anteil und somit maximale Sättigungsmagnetisierung bei vollständiger Abschirmung der Eisenoxid-Oberflächen, zu erreichen. Nach *in vitro*-Untersuchungen der Dispergierbarkeit und Stabilität in biologischen Medien qualifizierten sich SiliFe-NP mit 41 Ma% $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ für die aufwändigen *in vivo*-Untersuchungen des Eliminations-/Degradationsverhaltens sowie der Toxizität im Rahmen des NanoBEL-Verbundprojektes. Zur Bewertung der Abschirmungsqualitäten anorganischer und organischer Matrices (z.B. Silica bzw. Dextran, PEG) gegenüber Eisenoxid-Oberflächen wurde die innovative, oberflächensensitive Solvent-Infrarot-Spektroskopie (SIRS) als effiziente Alternative zu z-Potentialmessungen oder chemischen „Shielding-Assays“ eingeführt.

Stötzel C, Kurland H.-D., Grabow J., Müller F.A. (2015): Gas phase condensation of superparamagnetic iron oxide-silica nanoparticles - control of the intraparticle phase distribution. *Nanoscale*, DOI: 10.1039/c5nr00845j.

Kiefer J., Grabow J., Kurland H.-D., Müller F.A. (2015): Characterization of Nanoparticles by Solvent Infrared Spectroscopy (SIRS). *Anal. Chem.*, DOI: 10.1021/acs.analchem.5b03625.

Fernstudium „Lasertechnik“

Ziel des Studiums ist es, Absolventen mit Entscheidungskompetenz in den Bereichen Lasertechnik und Lasereinsatz auszubilden.

Das Studium vermittelt Grundlagen- und Spezialkenntnisse der Lasertechnik, Lasermaterialbearbeitung und Lasermesstechnik sowie in den Bereichen technisch-ökonomischer Aspekte des Lasereinsatzes und Arbeitsschutz bei Arbeiten mit Laserstrahlung.

Das vier Semester dauernde Studium ist als weiterbildender Fernstudiengang konzipiert und berufsbegleitend ab-

solvierbar. Die Einschreibung erfolgt jährlich zum Wintersemester.

Das Studium wird mit einem bundesweit anerkannten Universitäts-Zertifikat sowie

der zertifizierten "Sachkunde als Laserschutzbeauftragter" abgeschlossen.

Im Jahr 2017 wurden die Zertifikate an 17 erfolgreiche Fernstudenten vergeben.

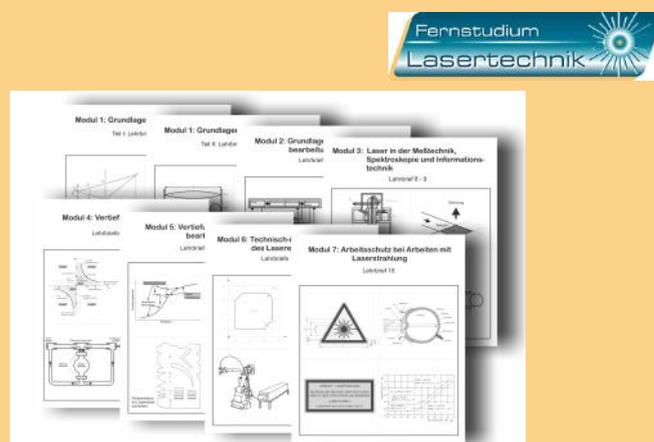


Abb. 3. Lehrmaterialien: 8 Lehrbriefe in 7 Modulen.

Computational Materials Science

Prof. Dr. Marek Sierka

Forschungsschwerpunkte

- *Ab initio*- und atomistische Methoden zur Erforschung der Struktur und Eigenschaften komplexer, nanostrukturierter Materialien. Im Fokus stehen vor allem Nanopartikel, Makromoleküle sowie Festkörper und deren Oberflächen.
- Neue Strategien zum maßgeschneiderten Design multifunktionaler Polymere und Nanopartikel mit optimierter Kompatibilität von bioabbaubarem Kern und eingeschlossenem Wirkstoff, um ein Maximum an Wirkstoffaufnahme Kapazität und Freisetzungseffizienz zu erreichen.
- Hochgenaue Vorhersage von mechanischen, elektronischen, chemischen und optischen Eigenschaften nanostrukturierter Materialien sowie ihre Überprüfung im Hinblick auf technische Anwendungen.

Quantenmechanische Methoden für große Moleküle, Oberflächen und Festkörper

Die rechnergestützte Erforschung nanostrukturierter Materialien erfordert Rechenverfahren, die nicht nur in der Lage sind größere molekulare und ausgedehnte Systeme beliebiger Dimensionalität bzw. Periodizität einheitlich zu beschreiben, sondern auch einen ausgewogenen Kompromiss zwischen Genauigkeit und Recheneffizienz bieten. Deshalb entwickeln wir quantenmechanische und atomistische Simulationsmethoden für eine einheitliche Beschreibung von Molekülen und ausgedehnten Systemen bei einem hohen Maß an numerischer Genauigkeit und Recheneffizienz.

Die in diesem Projekt entstandene Software behandelt größere molekulare und ausgedehnte, periodische Systeme methodisch einheitlich und numerisch genau. In Verbindung mit einer effizienten Parallelisierung sind Dichtefunktionaltheorie-Berechnungen von Systemen mit über tausend Atomen möglich (Abb. 1). Zurzeit befassen wir uns mit der Entwicklung neuartiger Methoden und Algorithmen für effiziente Simulationen der Licht-Materie-Wechselwirkung in großen, ausgedehnten Systemen.

Łazarski R., Burow A. M., Grajciar L., Sierka M. (2016): Density functional theory for molecular and periodic systems using density fitting and continuous fast multipole method: Analytical gradients. *J. Comput. Chem.*, DOI: 10.1002/jcc.24477.

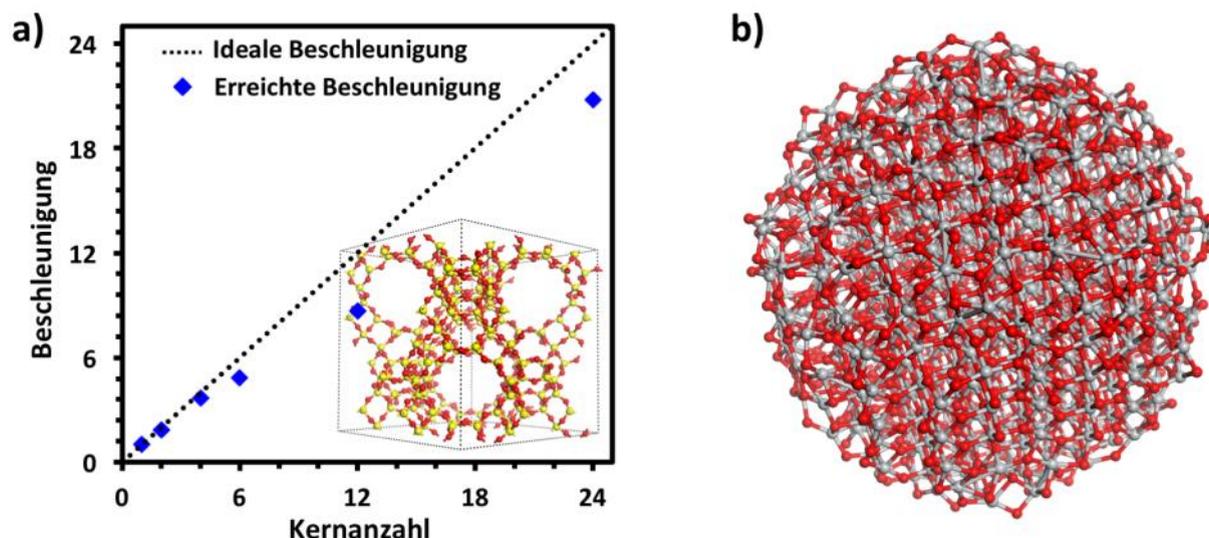


Abb. 1. *Ab initio*-Simulationen ausgedehnter Systeme: a) Parallele Beschleunigung für die Energie- und Gradientenberechnung des Faujasit-Zeolithen ($\text{Si}_{192}\text{O}_{384}$ -Elementarzelle). b) $(\text{TiO}_2)_{545}$ -Nanopartikel, Energie- und Gradientenberechnung: 8 Stunden/24 CPU-Kerne. (O: rot, Si: gelb, Ti: grau).

Maßgeschneiderte multifunktionale Polymere und Nanopartikel auf Polymerbasis

Im Jenaer Sonderforschungsbereich 1278 *Poly-Target* werden polymerbasierte, nanopartikuläre Trägermaterialien zur zielgerichteten Applikation von pharmazeutischen Wirkstoffen entwickelt. Im Vordergrund stehen Systeme, die zur Therapie von Krankheiten und Syndromen geeignet sind, deren Morbidität maßgeblich durch eine entzündliche Reaktion gekennzeichnet ist. Dabei sollen Struktur-Eigenschafts-Beziehungen von Polymeren bzw. Nanopartikeln und deren biologischer Wirkung ermittelt werden.

Der Beitrag unserer Arbeitsgruppe ist mithilfe einer Kombination aus Computersimulationen und Experimenten neue Strategien zum maßgeschneiderten Design polymerer Nanomaterialien zu entwickeln, welche die höchstmögliche Speicherkapazität medizinischer Wirkstoffe sowie die maximale Effizienz zur Freisetzung dieser aufweisen (Abb. 2).

Erlebach A., Ott T., Otzen C., Schubert S., Czaplowska J., Schubert U. S., Sierka M. (2016): Thermodynamic compatibility of actives encapsulated into PEG-PLA nanoparticles: In silico predictions and experimental verification. *J. Comput. Chem.*, DOI: 10.1002/jcc.24449.

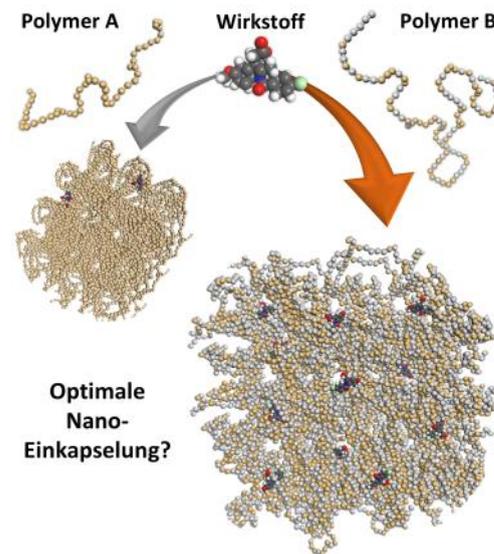


Abb. 2. Mittels eines kombinierten rechnerischen und experimentellen Ansatzes wird die Hydrophobizität von Polymeren systematisch variiert um die höchstmögliche Speicherkapazität medizinischer Wirkstoffe zu erreichen.

Nanokristalline Glaskeramiken mit niedriger Wärmeausdehnung

Glaskeramiken, deren Volumen konstant bleibt bei Variation der Temperatur, haben zahlreiche technische Anwendungen, von Kochfeldern bis hin zu Hochleistungslasern. Innerhalb einer vom BMBF finanzierten Forschergruppe wird ein Verfahren zur Herstellung einer gefügeoptimierten, nanokristallinen Glaskeramik erarbeitet, welche durch Variation der Zusammensetzung und der Herstellungsbedingungen eine einstellbare, niedrige oder gar negative thermische Wärmedehnung zeigt. Hierzu sollen durch Anpassung der chemischen Zusammensetzung die Phasenstabilität und thermische Dehnung gezielt kontrolliert werden, was jedoch die experimentelle Charakterisierung besonders umfangreich gestaltet. Unserer Beitrag sind ab initio-Moleküldynamiksimulationen zur Vorhersage der thermodynamischen Stabilität sowie der thermischen Dehnung der relevanten Kristallphasen für verschiedene Zusammensetzungen.

Erlebach A., Thieme K., Sierka M., Rüssel C. (2017): Structure and crystallization of SiO_2 and B_2O_3 doped lithium disilicate glasses from theory and experiment. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, DOI: 10.1039/C7CP04503D.

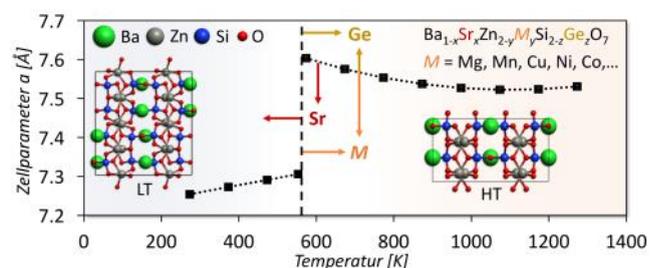


Abb. 3. Änderung der Struktur und Phasenstabilität der Tief- (TT) und Hochtemperaturphase (HT) von $\text{BaZn}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ (schwarze Kurve) durch Variation der chemischen Zusammensetzung. Der Zellparameter a der HT-Phase zeigt eine negative thermische Dehnung.

Theoretisch-Physikalisches Institut (TPI)



Foto: Jan-Peter Kasper

Institutsdirektor: Prof. Dr. Bernd Brügmann

Lehrstuhl für Theoretische Physik/Quantentheorie

Prof. Dr. Andreas Wipf

Lehrstuhl für Quantentheorie (ehemals Heisenberg-Professur)

Prof. Dr. Holger Gies

Lehrstuhl für Theoretische Physik/Gravitationstheorie

Prof. Dr. Bernd Brügmann

Lehrstuhl für Theorie korrelierter Quantensysteme in intensiven Feldern (am Helmholtz-Institut Jena)

Prof. Dr. Stephan Fritzsche

Juniorprofessur für Theoretische Physik/Quantentheorie

Jun.-Prof. Dr. Martin Ammon

Dozentur für Relativistische Astrophysik

apl. Prof. Dr. Reinhard Meinel

Adresse: Fröbelstieg 1 (Abbeanum), 07743 Jena

Homepage: www.tpi.uni-jena.de

Lehrstuhl für Quantentheorie

Prof. Dr. Andreas Wipf

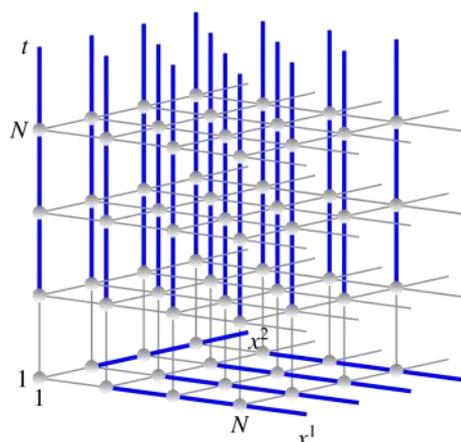
Forschungsschwerpunkte

- Relativistische fermionische Systeme: Simulation von 4-Fermi Theorien (Thirring- und Gross-Neveu Modell) auf einem drei-dimensionalen Gitter. Relevant für stark wechselwirkende Quantensysteme mit Phasenübergängen. Anwendungen auf Materialien mit Dirac Punkt(en) in der elektronischen Dispersionsrelation.
- Supersymmetrische Eichtheorien: Phasenübergänge und Teilchenmassen von Theorien in 4 und 2 Dimensionen. Relevant für Theorien jenseits des Standardmodells der Teilchenphysik und für die Gregory-Laflamme Instabilität von Schwarzen Strings und Löchern.
- Renormierungsgruppe für supersymmetrische (susy) Feldtheorien: das Streben von nicht-susy zu susy Feldtheorien bei niedrigen Energien und die Berechnung von Quantenkorrekturen der Metrik im Feldraum. Relevant für das universelle Verhalten von susy Theorien.

Die kritische Flavorzahl für Thirring-Modelle

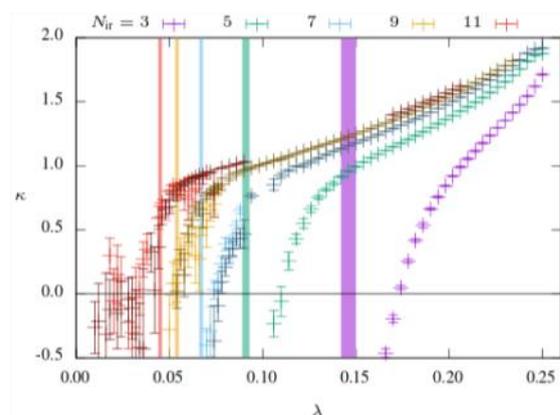
Sogenannte Dirac-Materialien bilden eine neue Klasse von Materialien. Dazu gehören Graphen, topologische Isolatoren und d-Wellen Supraleiter. Ihre Niederenergie-Eigenschaften werden von einem linearen Dispersionsgesetz in der Umgebung von Diracpunkten, bei denen eine konische Singularität vorliegt, bestimmt.

Dirac-Materialien werden bei niedrigen Energien durch fermionische Feldtheorien mit emergenter Lorentzinvarianz modelliert. Die Wechselwirkung enthält lorentzinvariante 4-Fermi Terme. Für einfache Systeme führt dies auf das Thirring- oder Gross-Neveu-Modell.



Durch Änderung von äußeren Bedingungen oder Systemparametern können Phasenübergänge von einer geordneten Phase mit Bandlücke

(massiven Fermionen) in eine ungeordnete ohne Bandlücke (masselose Fermionen) induziert werden. Ob Thirringmodelle eine Brechung der chiralen oder Paritätssymmetrie bei Änderung der Kopplungsstärke zeigen, war lange ein Rätsel. Die Antwort hängt von der Anzahl Fermionen N_f (gegeben durch die Anzahl Dirac-Punkte) ab. In einer kürzlich erschienenen Publikation (Editors choice in Phys. Rev. D) gelang es uns, diese Frage mithilfe von aufwändigen Gittersimulationen zu beantworten.



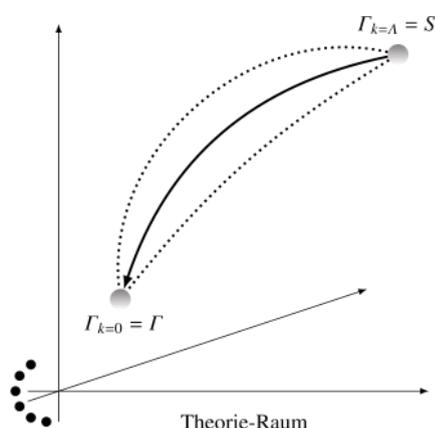
Wir konnten zeigen, dass es für gerade N_f keinen Phasenübergang gibt (es gibt nur die symmetrische Phase) und für ungerade N_f nur für $N_f < 9$ einen Übergang gibt. Dieses Ergebnis war nur möglich, weil bei den

Gittersimulationen chirale Fermionen eingesetzt wurden, die in unserer Arbeitsgruppe entwickelt und eingesetzt werden.

B. Wellegehausen, D. Schmidt, A. Wipf, Phys. Rev. D 96 (1917) 094504

Entstehung der Supersymmetrie (Susy)

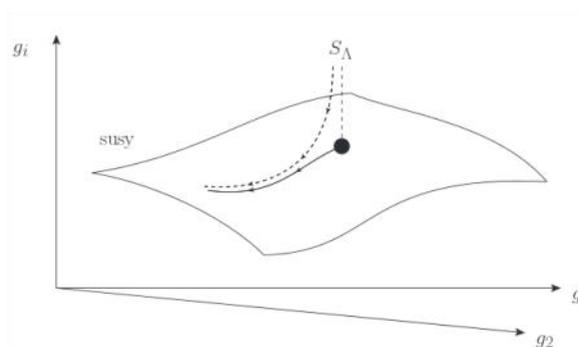
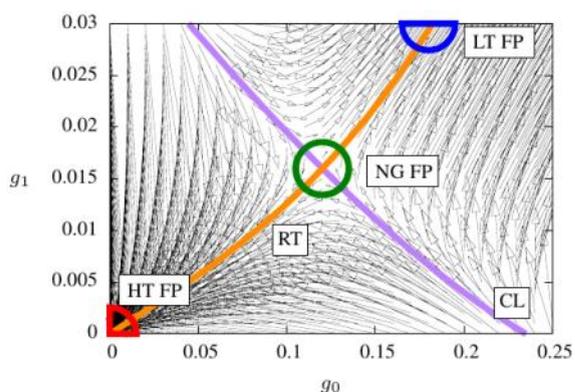
Betrachtet man ein physikalisches System mit verschiedenen Auflösungen eines Mikroskops, dann kann es sein, dass es bei kleiner Auflösung Symmetrien zeigt, die bei hoher Auflösung unsichtbar sind. Ähnlich kann es sich auch bei Yukawa-Theorien für Fermionen und Skalare verhalten: Sind die Anzahl der bosonischen und fermionischen Freiheitsgrade gleich, dann kann die mikroskopische Theorie ohne Susy auf makroskopischen Skalen supersymmetrisch sein. In einer kürzlich veröffentlichten Arbeit untersuchten wir die mögliche Emergenz von Supersymmetrie in Yukawa-Theorien. Dabei wurde die gründlich untersuchte und vielfach eingesetzte funktionelle Renomierungsgruppe eingesetzt. Hier werden Quantenfluktuationen nur oberhalb einer veränderlichen Impulsskala k berücksichtigt.



Die Änderung der effektiven Quantenwirkung bei Absenkung der Skala k wird durch eine nicht-lineare Integral-Differentialgleichung beschrieben. Eine physikalisch motivierte Näherung dieser FR-Gleichung wurde nun für Yukawa-Theorien untersucht um nachzuprüfen, ob für $k \rightarrow 0$ die Supersymmetrie entsteht.

Da wichtige Eigenschaften einer Quantenfeldtheorie durch ihr Verhalten in der Nähe von

Fixpunkten der FR-Gleichung bestimmt werden, verglichen wir die Umgebungen von (sich entsprechenden) Fixpunkten in Theorien ohne und mit Susy. Wir konnten nun zeigen, dass am nicht-trivialen Fixpunkt der Yukawa-Theorie alle relevanten Richtungen tangential zur Hyperfläche



sind, auf der supersymmetrische Modelle liegen. Dies bedeutet, dass jede nicht-supersymmetrische Störung für abnehmendes k gedämpft wird und die Theorie für große Skalen im Ortsraum supersymmetrisch wird. Quantenfluktuationen sorgen also dafür, dass die supersymmetrie-verletzenden Terme ausgewaschen werden.

H. Gies, T. Hellwig, A. Wipf, O. Zanusso, JHEP 1712 (2017) 132

Professur für Quantentheorie Prof. Dr. Holger Gies

Forschungsschwerpunkte

Die Arbeitsgruppe untersucht die Theorie einer Reihe von physikalischen Systemen der Elementarteilchen- und Vielteilchenphysik, bei denen wesentliche makroskopische Eigenschaften durch mikroskopische Fluktuationen geprägt werden. Ziel ist es, in Experimenten zugängliche messbare Eigenschaften der Natur aus ersten fundamentalen Prinzipien herzuleiten und bislang unentdeckte Eigenschaften quantitativ vorherzusagen. Spezielle Schwerpunkte sind:

- Starkkorrelierte Quantenfeldtheorien der Hochenergiephysik und Vielteilchenphysik
- Quantenelektrodynamik in starken Feldern

Starkkorrelierte Quantenfeldtheorien der Hochenergiephysik und Vielteilchenphysik

Während die fundamentalen Freiheitsgrade der Elementarteilchenphysik in Form von Materiebausteinen und ihrer Wechselwirkungen vergleichsweise einfachen mikroskopischen Gesetzen gehorchen, beobachten wir makroskopisch eine komplexe Vielfalt von Materieeigenschaften. Der Schritt vom Elementaren zum Komplexen geschieht oft durch die Bildung von zusammengesetzten Freiheitsgraden, durch Bereiche starker Wechselwirkung oder starker Korrelation, deren Beschreibung aus ersten Prinzipien heraus eine große Herausforderung darstellt. Die aktuelle Forschung bedarf daher einer Vielfalt von theo-

tischen Methoden, um quantitative Resultate und Vorhersagen zu ermöglichen.

In einer Reihe von Fragestellungen haben wir die moderne Methode der funktionalen Renormierungsgruppe zum Einsatz gebracht und mit Hilfe von analytischen, numerischen und computer-algebraischen Werkzeugen weiterentwickelt. Ein aktueller Anwendungsbereich ist die Elementarteilchenphysik des vor wenigen Jahren entdeckten Higgs-Bosons, die wesentlich für das Verständnis der Masse des Elektrons und weiterer Elementarteilchen ist. Aktuelle Messungen deuten darauf hin, dass nicht nur viele Kopplungen im Standardmodell zu hohen Energien hin schwach werden, sondern dass auch das Selbstwechselwirkungspotential des Higgsfelds sehr flach wird und ggf. große Fluktuationen zulassen kann. Dadurch kann das Verhalten der an Beschleunigern messbaren Observablen vergleichsweise sensitiv auf die Details des Higgs-potentials bei hohen Energien sein.

In unserer Arbeitsgruppe haben wir systematisch die Einflüsse der globalen Struktur des Higgs-Potentials auf den möglichen Bereich von zulässigen Messwerten studiert, und daraus Konsistenzbedingungen an die Details der mikroskopischen Wechselwirkungen bei höchsten Energien abgeleitet, die für direkte Messungen nur schwerlich zugänglich sind.

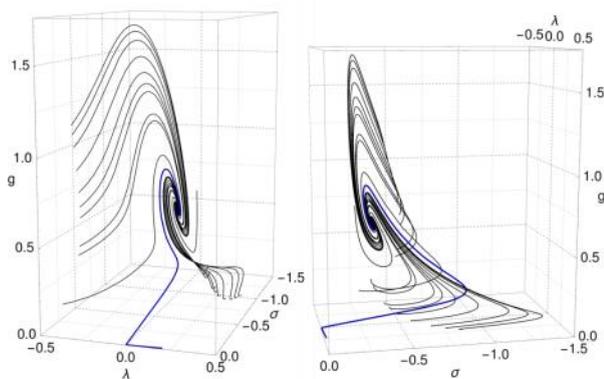


Abb: Hochenergiekontrollierte Renormierungsflüsse der asymptotisch sicheren Quantengravitation mit Goroff-Sagnotti Term $\sim \sigma$

Diese Konsistenzbedingungen dienen dadurch als Einschränkungen an hypothetische Erweiterungen des Standardmodells bei höchsten Energien und sind somit ein wichtiges Prüfkriterium für die Konstruktion von neuen Modellen.

Ein weiteres hochaktuelles Anwendungsfeld der Methode der funktionalen Renormierung ist das Hochenergieverhalten von Feldtheorien der Gravitation. Das Grundsatzargument, nachdem Gravitation sich einem Standardquantisierungsverfahren versagt, beruht auf der Beobachtung, dass im Rahmen von Störungstheorie der sogenannte Goroff-Sagnotti Term eine unabhängige physikalische Kopplung erzwingt und damit vermutlich unendlich viele weitere Kopplungen notwendig werden, so dass eine solche Theorie keinerlei Vorhersagekraft hat. Uns ist es hingegen gelungen zu zeigen, dass in einer Quantisierung der Gravitation mit einem wechselwirkenden Hochenergieverhalten ("Asymptotisch sichere Gravitation") der Goroff-Sagnotti-Term unschädlich ist und durch die Fluktuationen der wechsel-

wirkenden Quantengravitation kontrolliert wird. Eine solche rein quantenfeldtheoretisch begründete Version der Quantengravitation behält somit aller theoretischen Evidenz nach ihre Vorhersagekraft. Aktuelle Studien gehen daher der Frage nach, inwiefern asymptotisch sichere Gravitation und teilchenphysikalische Modelle der Materie zu einem mathematisch konsistenten Hochenergieverhalten führen, das wiederum mit Niederenergieobservablen im Einklang steht. Die Vision eines grundlegenden und umfassenden mikroskopischen Verständnisses der Natur im Rahmen der Quantenfeldtheorie erscheint somit möglich.

Holger Gies, René Sondenheimer: Renormalization Group Flow of the Higgs Potential, *Phil. Trans. R. Soc. A* 20170120 (2017), DOI: 10.1098/rsta.2017.0120

Holger Gies, Luca Zambelli: Asymptotically free scaling solutions in non-Abelian Higgs models, *Phys. Rev. D* 92 (2015), 025016, DOI: 10.1103/PhysRevD.92.025016

Holger Gies, Benjamin Knorr, Stefan Lippoldt, Frank Saueressig: Gravitational Two-Loop Counterterm Is Asymptotically Safe, *Phys. Rev. Lett.* 116 (2016), 211302, DOI: 10.1103/PhysRevLett.116.211302

Quantenelektrodynamik in starken Feldern

Quantenfluktuationen können Standardeigenschaften der klassischen Theorien grundlegend ändern. Durch Quantenfluktuationen erhält beispielsweise der Grundzustand der Quantenelektrodynamik (das Quantenvakuum) Eigenschaften, die denen eines Materials ähneln können. Moderne Hochintensitätslaser eröffnen einen völlig neuen Zugang zur Untersuchung solcher grundlegender physikalischer Fragestellungen.

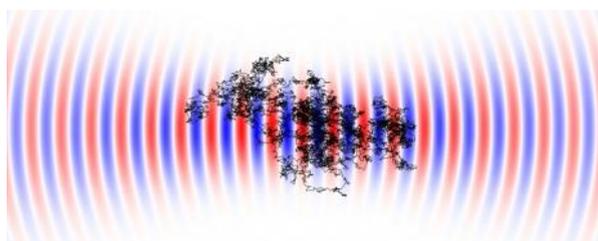


Abb: Simulation von Vakuumpolarisationseffekten im starken Laserfeld

Mit Lasern können, komplementär zur Forschung mit Teilchenbeschleunigern, die fundamentalen Eigenschaften der Natur auf mikroskopischer Quantenebene untersucht werden.

Unsere Arbeitsgruppe erforscht diese neuen Möglichkeiten im Rahmen der Quantenfeldtheorie theoretisch. Unser Ziel ist es, neuartige Signaturen und Observablen elementarer physikalischer Prozesse in hochintensiven Laserfeldern zu identifizieren, diese theoretisch zu untersuchen und konkrete, experimentell realisierbare Anordnungen zu deren Nachweis vorzuschlagen.

Holger Gies, Felix Karbstein, Nico Seegert: Photon merging and splitting in electromagnetic field inhomogeneities, *Phys. Rev. D* 93 (2016), 085034, DOI: 10.1103/PhysRevD.93.085034

Holger Gies, Felix Karbstein: An Addendum to the Heisenberg-Euler effective action beyond one loop, *JHEP* 1703 (2017) 108, DOI: 10.1007/JHEP03(2017)108

Professur für Gravitationstheorie

Prof. Dr. Bernd Brügmann

Forschungsschwerpunkte

- Physik und Astrophysik von Schwarzen Löchern, Neutronensternen und Gravitationswellen, insbesondere im Bereich starker Gravitationsfelder, wie sie durch die Allgemeine Relativitätstheorie beschrieben werden
- Numerische und Analytische Methoden in der Relativitätstheorie, die die Lösung der Einstein-Gleichungen für starke Gravitationsfelder ermöglichen
- Computational Physics, High-Performance Computing und Software-Entwicklung für Partielle Differentialgleichungen, mit Anwendungen in der numerischen Relativitätstheorie

Gravitationswellen: 100 Jahre nach Einstein erstmals gemessen

Albert Einstein hatte Gravitationswellen schon 1916 als Konsequenz aus der damals neuen Allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagt. Anfang 2016 gab die LIGO Kollaboration in einer vielbeachteten Pressekonferenz bekannt, dass am 14. September 2015 zum ersten Mal ein Gravitationswellensignal direkt gemessen worden ist. Schon 2017 wurde für dieses bahnbrechende Ergebnis der Nobel-Preis in Physik verliehen. Bei dem ersten Signal handelt es sich aller Wahrscheinlichkeit nach um ein Signal von der Kollision und Verschmelzung zweier Schwarzer Löcher. Bisher waren solche Ereignisse noch nicht beobachtet worden, waren aber Gegenstand der theoretischen Forschung. Die erzielten Fortschritte in Experiment und Theorie ermöglichen eine neue Astronomie, die Gravitationswellenastronomie.

Die Arbeitsgruppe am Lehrstuhl für Gravitationsphysik beschäftigt sich mit vielfältigen Aspekten der Theorie der Gravitationswellenphysik.

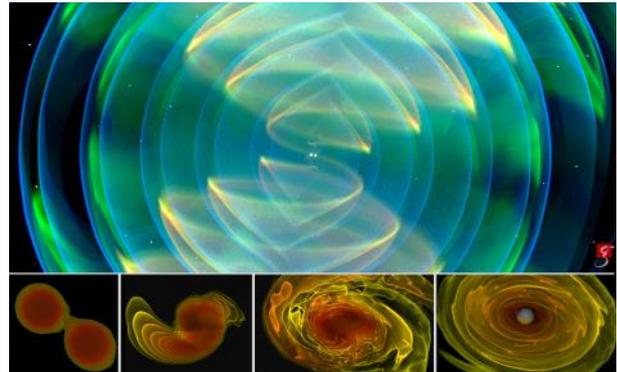
Computersimulationen erlauben es, das Zwei-Körper-Problem der Allgemeinen Relativitätstheorie zu lösen. Dies erfordert einen erheblichen Aufwand in der mathematischen Beschreibung des Problems, und ebenso in der numerischen Methodik, um diese hochkomplexe Problematik einer Lösung auf Supercomputern zuzuführen. Ein wesentliches Ergebnis der Simulation von Schwarzen Löchern und Neutronensternen ist die Vorhersage von Gravitationswellen. In Anbetracht der ersten Beobachtungen ist ein neues, zentrales Thema, die gemessenen Gravitationswellensignale bestimmten astrophysikalischen Ereignissen zuzuordnen.

Gravitationswellen einer Neutronenstern-Kollision

Im August 2017 wurde zum ersten Mal ein Gravitationswellensignal von der Kollision zweier Neutronensterne aufgezeichnet. Während bei Schwarzen Löchern die Geometrie der Raumzeit die Hauptrolle spielt, führt die Kollision der Materie in Neutronensternen zur Erzeugung von schweren Elementen. Nachdem das LIGO

(Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory) in den USA und das Virgo-Interferometer in Italien die der Kollision der Sterne vorausgehenden Gravitationswellen aufgezeichnet hatten, richteten Astronomen weltweit ihre Teleskope auf die Galaxie NGC 4993, die sich mit etwa 130 Millionen Lichtjahren relativ nah an unserem

Sonnensystem befindet. Beobachtet wurden der Lichtblitz der Explosion und das tagelange Abklingen der Strahlung, wodurch weitere erhellen- de Erkenntnisse gelangen. Durch die nach der Sternenkollision ablaufenden Prozesse entstehen schwere Elemente wie Platin und Gold, die in den interstellaren Raum geschleudert werden. Bis vor kurzem ging man davon aus, dass die schweren Elemente von Supernovae stammen, d.h. von der Explosion einzelner Sterne. Die detaillierte Beobachtung einer sogenannten Makro- nova nach der Kollision von Neutronensternen ist ein fantastisches Ergebnis, weil sie die beobach- tete Häufigkeit der schweren Elemente wesent- lich besser erklärt als das Modell der Superno- vae.



Computersimulation von der Kollision zweier Neutronensterne. Oben: Gravitationswellen (in blau-grün), die während der letzten Orbits der zwei Neutronensterne mit Lichtgeschwindigkeit ausgesandt wurden.

Unten: Bei der Kollision wird Materie der Neutronensterne (in gelb-orange) in den Weltraum geschleudert, während sich im Zentrum ein Schwarzes Loch mit Akkretionsscheibe bildet.

Simulation: T. Dietrich (MPI für Gravitationsphysik) und die BAM/Jena Kollaboration.

Visualisierung: T. Dietrich, S. Ossokine, H. Pfeiffer, A. Buonanno (MPI für Gravitationsphysik)

Vorhersage von Gravitationswellen

Die jüngsten Entdeckungen in der Gravitationswellenastronomie beruhen zunächst auf mög- lichst exakten Vorhersagen durch Modelle, die in der Theoretischen Physik u. a. in Jena erarbeitet werden. Für die Kollision von Neutronensternen entwickelt die Arbeitsgruppe von Brügmann Computerprogramme, die auf einigen der größ- ten Supercomputer Europas laufen. Daran war auch Dr. Tim Dietrich beteiligt, der in Jena pro- movierte und 2017 einen Promotionspreis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, und ebenso den Promotionspreis der Physikalisch- Astronomischen Fakultät erhielt. Dietrich forscht mittlerweile in Kooperation mit Jena am Albert- Einstein-Institut in Potsdam weiter zur numeri- schen Relativitätstheorie. Zukunftsweisend ist zudem das Promotionsthema von Reetika Dudi, Doktorandin im Graduiertenkolleg für Quanten- und Gravitationsfelder in Jena, die an der numeri- schen Datenanalyse für Gravitationswellen von Neutronensternen arbeitet.

Davon kann so mancher Doktorand nur träumen. Noch vor Kurzem war das Thema Neutronensterne für die LIGO/Virgo-Kollaboration nur eines unter vielen, bis die verblüffende Entdeckung genau solch einer Quelle ihr Thema in den Mittel- punkt des Interesses rückte.



Reetika Dudi und Dr. Tim Dietrich auf der Tagung der LIGO/Virgo Kollaboration am 18.10.2017 im Harnack Haus, Berlin. (Credit: Privat)

Lehrstuhl für Theorie korrelierter Quantensysteme in intensiven Feldern

Prof. Dr. Stephan Fritzsche

Forschungsschwerpunkte

- Elektronenstruktur und Dynamik endlicher Quantensysteme, insbesondere Entwicklung relativistischer und quantenelektrodynamischer Methoden für (super-) schwere Elemente
- Atomare Ionisations- und Rekombinationsprozesse nach Innerschalenanregung; Simulation von Photoionisations- und Augerkaskaden.
- Multiphotonen-Ionisationsdynamik atomarer Systeme in kurzen und intensiven Pulsen; Zusammenarbeit mit experimentellen Gruppen am DESY und XFEL (Hamburg).
- Licht-Materie Wechselwirkung von Atomen und Molekülen mit *twisted light*, d.h. Licht mit definierten Bahndrehimpulskomponenten; Untersuchung der Polarisation und Winkelverteilung der Fluoreszenzstrahlung.
- Entwicklung moderner Codes zur Erforschung der Quantendynamik komplexer Systeme; paralleles Rechnen, computeralgebraische Methoden.

Forschungsprojekt 1: Licht-Materie-Wechselwirkung in hochgeladenen Ionen

Atomphysikalische Methoden helfen seit vielen Jahren, die Wechselwirkung und das Verhalten hochgeladener Ionen besser zu verstehen. In diesen Ionen bewegen sich die Elektronen in sehr starken (Coulomb-) Feldern und mit zum Licht vergleichbaren Geschwindigkeiten. Diese Ionen helfen u.a. daher auch, die *Isotopenkarte* der Kernphysik, eine Tafel aller bekannten Nuklide und deren Eigenschaften, hin zu schweren Elementen weiter zu vervollständigen. Für die Kernphysiker besitzt diese Isotopentafel einen ähnlichen hohen Stellenwert wie ansonsten nur das gut bekannte Periodensystem der Elemente. Neben der Vermessung der Grundzustandseigenschaften der Isotope sind solche Methoden nützlich, um z.B. Informationen über die Anregung und den Zerfall isomerer Zustände zu gewinnen.

Ein bislang unbeachteter Anregungs- und Zerfallsmechanismus, der auf dem Zweiphotonenzerfall angeregter Atome und Ionen beruht, könnte künftig bei der Untersuchung isomerer Kernzustände helfen. Dieser sogenannte NETP-Prozess (*nuclear excitation by two-photon electron transitions*) ist schematisch in Abb. 1 dargestellt. Erste konkrete Rechnungen wurden in unserer Gruppe für den $1s2s\ ^1S_0 \rightarrow 1s^2\ ^1S_0$

E1E1 Zweiphotonenzerfall helium-ähnlicher $^{225}\text{Ac}^{78+}$ Ionen durchgeführt, die bei $\omega_{\text{ES}} = 40.09(5)$ keV eine bekannte $3/2_+$ Kernresonanz besitzen. Die Wahrscheinlichkeit solcher (resonanten) Kernanregungen beträgt dabei etwa $P_{\text{NETP}} = 3.5 \times 10^{-9}$ und ist groß genug, um diesen Zerfallsmechanismus experimentell nachzuweisen und evtl. auf noch unbekannte Kernzustände übertragen zu können. Dazu werden an der GSI gegenwärtig erste Experimente vorbereitet, um diesen bislang noch nicht beobachteten Prozess tatsächlich nachweisen zu können.

Ivanov I.P., Seipt D., Surzhykov A. and Fritzsche S. (2016): Double-slit experiment in momentum space; Eur. Phys. Lett. **115**, 41001, DOI: 10.1209/0295-5075/115/41001

Volotka A.V., Surzhykov A., Trotsenko S., et al. (2016) Nuclear excitation by two-photon electron transition, Phys. Rev. Lett. **117**, 243001, DOI: 10.1103/PhysRevLett.117.243001

Wu Z.W., Volotka A.V., Surzhykov A. and Fritzsche S. (2017); Angle-resolved x-ray spectroscopic scheme to determine overlapping hyperfine splittings in highly charged heliumlike ions; Phys. Rev. A **96**, 012503, DOI: 10.1103/PhysRevA.96.012503

Siek F., Neb S, Bartz P., et al. (2017): Angular momentum-induced decays in solid-state photoemission enhanced by intra-atomic interactions; Science **357**, 1274, DOI 10.1126/science.aam9598

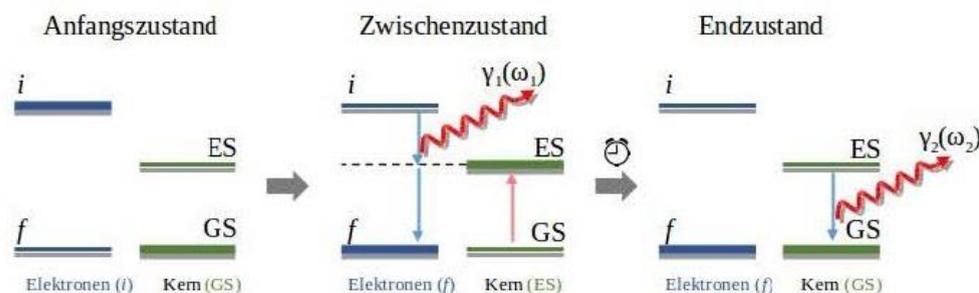


Abb. 1. Darstellung der Einzelschritte beim NETP Prozess. Ein gezielt angeregter elektronischer Anfangszustand (i), in dem der Kern im Grundzustand ist (links), zerfällt unter der Emission eines Photons γ_1 in den Grundzustand der Elektronenhülle (f) und einen nun angeregten Kernzustand (Mitte). Dieser angeregte Kernzustand geht dann verzögert ebenfalls in den Grundzustand über (rechts), wobei das Fluoreszenzphoton γ_2 abgestrahlt wird; aus Volotka et al. (2016)

Forschungsprojekt 2: Präzise Vorhersagen für (super-) schwere Elemente

Freie Atome und Ionen weisen mit ihren Spektrallinien deren ganz eigenen „Fingerabdruck“ auf, der sowohl zur Identifizierung als auch in vielfältigen Anwendungen genutzt wird. Dieser Fingerabdruck entsteht aus der Dynamik der Elektronen in der sogenannten (Elektronen-) Hülle der Atome und ist für viele leichte und mittelschwere Atome in den vergangenen Jahrzehnten sehr detailliert untersucht worden. Die Kenntnis dieser Spektrallinien der Elemente wird heute nicht nur bei der Entwicklung und Charakterisierung neuer Materialien, in der Informationstechnik oder für die Entwicklung neuartiger Lichtquellen genutzt, sondern hilft auch die Grundlagen der Astro- und Plasmaphysik sowie vieler anderer Teilgebiete der Physik besser zu verstehen. In der Kernphysik bspw. helfen präzise laser-spektroskopische Messungen die Multipolmomente und Spins der Kerne zu bestimmen und so mehr über die Stabilität radioaktiver Isotope zu lernen. – Dennoch stellen präzise Vorhersagen zu den Spektrallinien schwerer und offenschaliger Elemente noch immer eine große Herausforderung dar, auch wenn heute oftmals lange Isotopenketten experimentell erzeugt werden können. In enger Zusammenarbeit mit verschiedenen experimentellen Gruppen am CERN, in Jyväskylä (Finnland), Löwen (Belgien) oder Manchester (UK) führen wir gegenwärtig daher umfangreiche Rechnungen durch, um die Hyperfeinstruktur und Isotopieverschiebung schwerer Elemente besser vorhersagen zu können. Solche winzigen Verschiebungen in den Spektrallinien verschiedener Isotope eines Elementes entstehen vor allem aus der Mitbewegung der Kerne (der sogenannte Massenverschiebung) sowie der Form der Kerne und deren verschiedenen Ladungs- und Magnetisierungsverteilungen. Abb. 2 zeigt bspw. die mittleren Ladungsradien mehrerer 3d Übergangsmetalle als Funktion der Neutronenzahl der Isotope. Die rot markierte Kurve für Mangan ergibt sich hier mithilfe der in unserer Gruppe berechneten Isotopieparameter. Das ausgeprägte Minimum bei 28 Neutronen weist auf den erwarteten *Schalenabschluss* in diesem Bereich hin. Um solche Vorhersagen künftig auch für schwere Elemente treffen zu können, werden in unserer Gruppe neue theoretische Modelle und Methoden entwickelt, bei den die korrelierte und relativistische Elektronenbewegung zuverlässiger als bisher berücksichtigt werden können. Dafür sind auch Aussagen zu den (theoretischen Unsicherheiten) notwendig, die oftmals nur durch aufwendige Vergleichsrechnungen mit systematisch vergrößerten Modellräumen bestimmt werden können.

Heylen H., Babcock C., Beerwerth R., et al. (2016): Nuclear structure of the Mn isotopes studied via charge radii systematics, Phys. Rev. C **94**, 054321, DOI: 10.1103/PhysRevC.94.054321.

Minamisono K., Rossi D.M., Beerwerth R., et al. (2016): Charge radii of neutron-deficient $^{52,53}\text{Fe}$ produced by projectile fragmentation; Phys. Rev. Lett. **117**, 252501, DOI: 10.1103/PhysRevLett.117.252501.

Ferrer R, Barzakh A., Bastin E., et al. (2017): Towards high-resolution laser ionization spectroscopy of the heaviest elements in supersonic gas jet expansion, Nature Communications **8**, 14520, DOI: 10.1038/ncomms14520.

Granados C., Barzakh A., Bastin E., et al. (2017): In-gas laser ionization and spectroscopy of actinium isotopes around the $N=126$ closed shell, Phys. Rev. C **96**, 054331, DOI: 10.1103/PhysRevC.96.054331.

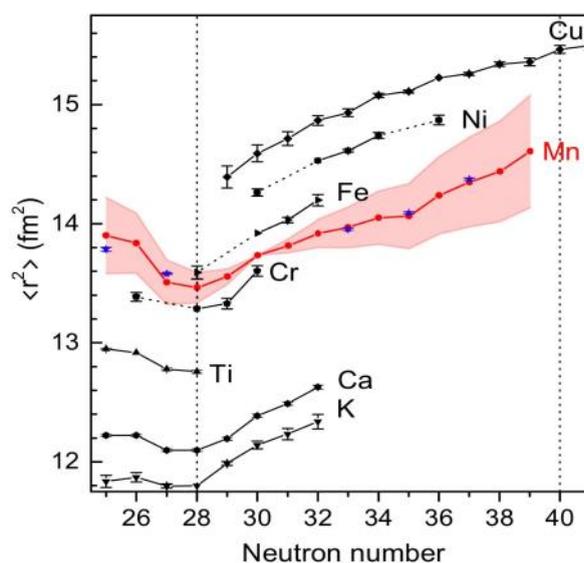


Abb. 2. Mittlere Ladungsradien für verschiedene Elemente mit Neutronenzahlen von 25 bis 40. Der Schalenabschluss bei $N = 28$, der mithilfe unserer Atomstrukturrechnungen bestimmt wurde (rot markiert), ist deutlich zu sehen; aus Heylen et al. 2016.

Juniorprofessur für Theoretische Physik/Quantentheorie Jun.- Prof. Dr. Martin Ammon

Forschungsschwerpunkte

- Dualitäten zwischen Quantenfeldtheorien und Gravitationstheorien.
- Untersuchung stark gekoppelter Quantenfeldtheorien mit chiralen Anomalien, insbesondere deren Phasendiagramm, Transportkoeffizienten sowie die Dynamik fern vom Gleichgewicht.
- Hochpräzise Konstruktion Schwarzer Löcher und Schwarzer Strings in höherdimensionalen asymptotisch flachen Kaluza-Klein Theorien, Berechnung des Phasendiagramms und der kritischen Geometrie zwischen Schwarzen Löchern und Schwarzen Strings.
- (Quanten-)Gravitationsaspekte von Stringtheorie und Höherer-Spin Gravitation. Konstruktion von Schwarzen Löchern in höherer Spingravitation; Erweiterung der Dualität auf asymptotisch flache Raumzeiten.

Forschungsschwerpunkte: Dualitäten zwischen Quantenfeld- und Gravitationstheorien

Die Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe liegen einerseits auf fundamentalen Einsichten für Quantenfeldtheorien bei starker Kopplung, und andererseits auf dem theoretischen Verständnis von Quantenaspekten der Gravitationstheorien.

Gravitationstheorien beschreiben die Physik erfolgreich auf kosmischen Skalen und besitzen faszinierende Lösungen wie beispielsweise Schwarze Löcher. Hingegen werden Quantenfeldtheorien verwendet, um die Wechselwirkung der kleinsten Teilchen und Systeme der kondensierten

Materie zu beschreiben. Allein aufgrund dieser Fakten ist es umso überraschender, dass man eine Abbildung von Quantenfeld- und Gravitationstheorien finden kann. In anderen Worten: gewisse Quantenfeldtheorien und Gravitationstheorien beschreiben ein- und dasselbe.

Solche Abbildungen, die auch unter dem Namen AdS/CFT Dualität bekannt sind, können im Rahmen von Stringtheorie motiviert werden, in der die fundamentalen Freiheitsgrade nicht mehr punktförmig sind sondern vielmehr kleine Saiten. Die Gravitationstheorie lebt hierbei in einer höherdimensionalen (negativ gekrümmten) Raumzeit, wobei die Extradimension als Energieskala der zugehörigen Quantenfeldtheorie interpretiert werden kann. Dies ist auch schematisch in der Abbildung links dargestellt.

Schwarze Löcher und deren Quantenaspekte spielen eine wichtige Rolle in der AdS/CFT Dualität. Sie erlauben einerseits die Beschreibung stark gekoppelter Quantenfeldtheorien bei endlicher Temperatur und Dichte. Andererseits ermöglicht die AdS/CFT Dualität neue Einsichten in ungelöste Paradoxa in Zusammenhang mit Schwarzen Löchern, beispielsweise in das berühmte Informationsverlustproblem von Hawking.

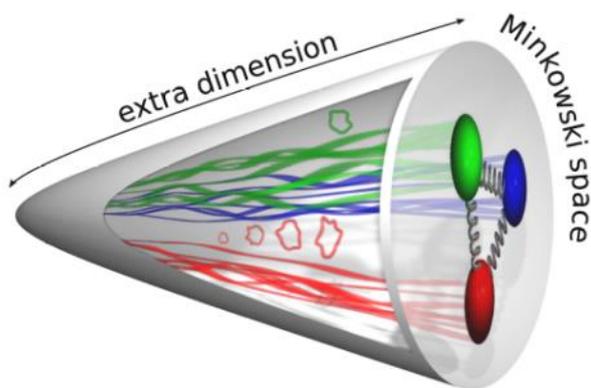


Abb. 1. Schematische Darstellung der AdS/CFT Dualität; die Quantenfeldtheorie wird symbolisiert durch ein Proton bestehend aus drei farbigen Quarks, die Gravitationstheorie durch farbige Saiten.

Forschungsprojekt 1: Chirale Effekte in stark gekoppelten anomalen Quantenfeldtheorien

Symmetrien spielen eine wichtige Rolle in der Physik. So manifestieren sich durch Quanteneffekte gebrochene Symmetrien, sogenannte Anomalien, in Effekten der Hochenergiephysik und Physik der kondensierten Materie. Ein Beispiel hierfür ist der chirale magnetische Effekt, einem elektrischen Strom entlang eines Magnetfelds in Anwesenheit eines axial chemischen Potentials.

Mittels der AdS/CFT Dualität wurde dieser Effekt erstmalig fernab des Gleichgewichts, beispielsweise in zeitabhängigen elektrischen Feldern, untersucht. Wir finden universelle Dynamik sowohl im Früh- als auch Spätzeitverhalten. Ersteres weist auf eine noch genauer zu untersuchende universelle Nichtgleichgewichtsdynamik hin. Letzteres ist eine Manifestierung von Landau Niveaus bei starker Kopplung, die erstmalig mit holographischen Methoden untersucht wurden.

Des Weiteren wurden Weyl Semimetalle bei starker Kopplung untersucht. Hierbei manifestiert sich der chirale (axial) magnetische Effekt in Form von Oberflächenzuständen, sogenannten Fermi-Bögen, zwischen topologisch trivialen und

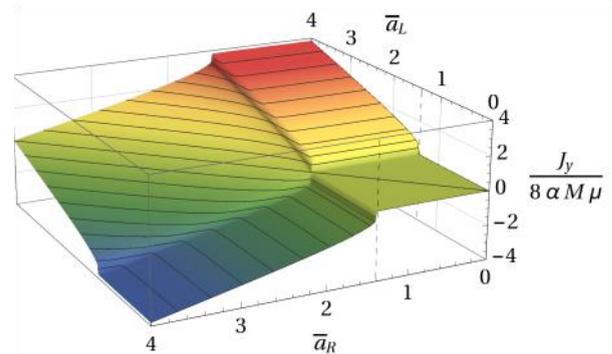


Abb. 2. Oberflächenstrom entlang einer Grenzfläche zwischen Weyl- und Dirac-Semimetall

nicht-trivialen Phasen des Weyl Semimetalls aus (siehe Abbildung).

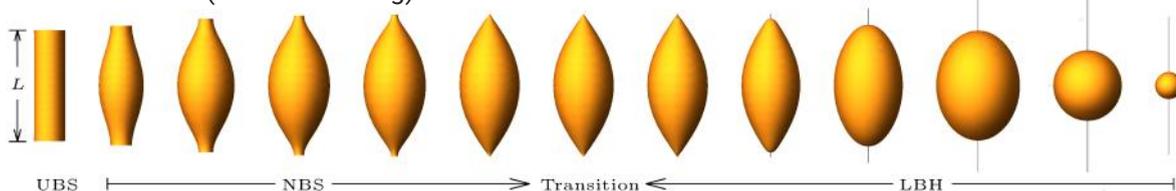
Ammon, M., Grieninger, S., Jimenez, A., Macedo, R., Melgar, L. (2016): Holographic quenches and anomalous transport. JHEP, DOI:10.1007/JHEP09(2016)131.

Ammon, M., Kaminski, M., Leiber, J. et. al. (2017): Quasinormal modes of charged magnetic black branes & chiral magnetic transport. JHEP, DOI:10.1007/JHEP04(2017)067.

Ammon, M., Heinrich, M., Jimenez, A., Möckel, S. (2017): Surface States in holographic Weyl Semimetals. Phys. Rev. Lett., DOI:10.1103/PhysRevLett.118.201601.

Forschungsprojekt 2: Schwarze Löcher in Kaluza-Klein und Höheren-Spin Gravitationstheorien

In einer Reihe von Arbeiten wurden Schwarze Löcher und Ihre Quantenaspekte in verallgemeinerten Gravitationstheorien untersucht. Während in vier-dimensionalen Gravitationstheorien die stationären ungeladenen Schwarzen Löcher durch die Schwarzschild Geometrie beschrieben ist, ist die Klasse der stationären Lösungen in höher-dimensionalen Kaluza-Klein Gravitationstheorien mit kompakten Raumdimensionen reichhaltiger: neben in den Extra-Dimensionen lokalisierten Schwarzen Löchern (LBH) mit einer sphärischen Horizont Topologie gibt es Schwarze Strings (UBS/NBS), deren Horizonte die kompakte Dimension komplett umschließen. Die LBH und NBS Lösungen sind durch eine singuläre Zwischenlösung verbunden, die erstmalig numerisch gefunden und dessen kritische Exponenten bestimmt wurde (siehe Abbildung).



In einem weiteren Forschungsstrang wurden außerdem Schwarze Löcher in drei-dimensionaler Höherer-Spin Gravitationstheorie konstruiert, und deren Thermodynamik untersucht. Die thermodynamischen Größen lassen sich mittels am Horizont definierten Ladungen besonders einfach ausdrücken. Des Weiteren werden masselose Anregungen am Horizont, sogenannte *soft hairs*, explizit konstruiert und untersucht.

Kalisch, M. Möckel, S., Ammon, M. (2017): Critical behavior of the black hole/black string transition. JHEP, DOI:10.1007/JHEP08(2017)049.

Ammon, M., Grumiller, D., Prohazka, S., Riegler, M., Wutte, R. (2017): Higher Spin flat space cosmologies with soft hair. JHEP, DOI:10.1007/JHEP05(2017)031.

Abb. 3. Übergang von Schwarzen Strings (links) zu lokalisierten Schwarzen Löchern (rechts); Bild: M. Kalisch.

Hochschuldozentur für Relativistische Astrophysik apl. Prof. Dr. Reinhard Meinel

Forschungsschwerpunkte

- Relativistische Gleichgewichtsfiguren: stationäre Konfigurationen rotierender Flüssigkeiten unter dem Einfluss der eigenen Gravitation im Rahmen der allgemeinen Relativitätstheorie, relevant für die Modellierung von Neutronensternen
- Quasistationäre Wege zu Schwarzen Löchern: stetiger Übergang von Gleichgewichtskonfigurationen normaler Materie zu Schwarzen Löchern (parametrischer Kollaps), relevant für die Thematik der "kosmischen Zensur"
- Lösung der Einstein-Gleichungen mit Hilfe der "inversen Spektraltransformation": Lösungsverfahren aus der Solitontheorie, anwendbar auf die Vakuum-Einstein-Gleichungen bei Vorliegen geeigneter Symmetrien, relevant für Schwarze Löcher und Gravitationswellen

Der gyromagnetische Faktor rotierender Scheiben: vom Newtonschen Grenzfall bis zum Schwarzen Loch

Das gyromagnetische Verhältnis eines Systems (auch gyromagnetischer Faktor oder g -Faktor genannt) gibt an, um welchen Faktor das magnetische Dipolmoment größer als das halbe Produkt aus spezifischer Ladung und Drehimpuls ist. Für ein System aus klassischen Teilchen einheitlicher spezifischer Ladung, die sich mit im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit kleinen Geschwindigkeiten bewegen, gilt $g=1$.

Aus der Dirac-Gleichung folgt bekanntlich für das mit dem Spindrehimpuls des Elektrons verbundene magnetische Moment der Wert $g=2$ (quantenelektrodynamische Korrekturen liefern in hervorragender Übereinstimmung mit den Experimenten einen geringfügig größeren Wert). Interessanterweise gilt $g=2$ auch für die Kerr-Newman-Lösung der Einstein-Gleichungen, die ein rotierendes, elektrisch geladenes Schwarzes Loch beschreibt.

Mit hochgenauen numerischen Methoden haben wir das allgemein-relativistische Verhalten einer stationär rotierenden Scheibe studiert, die aus elektrisch geladener inkohärenter Materie ("Staub") besteht. Dabei haben wir eine konstante Winkelgeschwindigkeit und eine konstante spezifische Ladung vorausgesetzt.

Für verschwindende Ladung reduziert sich das Modell auf die analytisch bekannte (ungeladene) Staubscheibenlösung der Einstein-Gleichungen (Neugebauer und Meinel 1995). In diesem Fall konnte gezeigt werden, dass die Lösung einen parametrischen Grenzübergang zu einem Schwarzen Loch gestattet – beschrieben durch die extreme Kerr-Lösung.

Mit unseren numerischen Rechnungen konnten wir (im Rahmen der sehr hohen Genauigkeit) demonstrieren, dass auch die geladene Scheibe einen derartigen Grenzübergang zeigt. Dabei bildet sich wiederum ein Schwarzes Loch – beschrieben durch die extreme Kerr-Newman-Lösung.

Dementsprechend nimmt der gyromagnetische Faktor in diesem Grenzfall den Wert $g=2$ an. Im Newtonschen Grenzfall ergibt sich hingegen (im Einklang mit den obigen Erläuterungen) der Wert $g=1$. Damit haben wir ein interessantes Modell gefunden, welches in stetiger Weise zwischen dem "klassischen Wert" $g=1$ und dem "ultra-relativistischen" Wert $g=2$ interpoliert.

Neues Lehrbuch: Spezielle und allgemeine Relativitätstheorie für Bachelorstudenten

Im Zeitalter der Gravitationswellenastronomie ist es wünschenswert, dass neben der speziellen endlich auch die allgemeine Relativitätstheorie in die Standardausbildung des Physikstudiums integriert wird. Das neue Lehrbuch zeigt einen Weg auf, wie dies gelingen kann.

Die ersten beiden Teile des Buches entsprechen einer Vorlesung, die der Autor seit 2007 regelmäßig für Bachelorstudenten im fünften Semester hält (wöchentlich zwei Stunden Vorlesung und zwei Stunden Übung). Diese Vorlesung kann von allen Studenten im Anschluss an die Vorlesungen zur Theoretischen Mechanik und Elektrodynamik gut verstanden werden. Die spezielle Relativitätstheorie (Teil I) beansprucht etwa ein Drittel der Vorlesung, die restlichen zwei Drittel stehen für die allgemeine Relativitätstheorie zur Verfügung (Teil II).

Im dritten Teil des Lehrbuches werden mathematische Methoden dargestellt, mit denen einige anspruchsvolle physikalische Probleme im Rahmen der Einsteinschen Gravitationstheorie analytisch gelöst werden können.

Überblick über den Inhalt:

- Teil I Spezielle Relativitätstheorie (SRT)
(Einführung, Der Minkowski-Raum – Die Raumzeit der SRT, Lorentz-Transformationen, Vierervektoren und Vierertensoren, Relativistische Punktmechanik, Andere Teilgebiete der Physik im Rahmen der SRT)
- Teil II Allgemeine Relativitätstheorie (ART)
(Grundideen, Geometrie der Raumzeit, Physik in der gekrümmten Raumzeit, Die Einsteinschen Feldgleichungen, Der Newton-sche Grenzfall, Die Schwarzschild-Lösung, Die klassischen Effekte der ART, Kugelsymmetrische Sternmodelle, Die Schwarzschild-Lösung als Schwarzes Loch, Das Wirkungsprinzip der ART, Ausblick)
- Teil III Ergänzungen für Fortgeschrittene
(Mathematische Methoden, Rotierende und elektrisch geladene Schwarze Löcher, Die rotierende Staubscheibe)



Das Buch enthält eine Vielzahl von Übungsaufgaben mit ausführlich dargestellten Lösungen und ist auch zum Selbststudium geeignet. Der letzte Abschnitt von Teil II gibt einen Ausblick auf die Themen Gravitationswellen und Kosmologie sowie das Problem der Quantengravitation. Das sind Gebiete, die in Jena im Rahmen des Masterstudiums vertieft werden können. Teil III enthält – erstmals in einem Lehrbuch – eine physikalische Herleitung der berühmten Kerr-Newman-Lösung, die ein rotierendes und elektrisch geladenes Schwarzes Loch beschreibt. Dieser Teil kann gegebenenfalls auch als Grundlage eines anspruchsvollen Oberseminars im Masterstudium verwendet werden.

Arbeitsgruppe Fachdidaktik der Physik und Astronomie (PAD)



Arbeitsgruppenleiter: Dr. Ronny Nawrodt (kommissarisch)

Vertretungsprofessur für Physik und ihre Didaktik

Dr. Ronny Nawrodt

Heraeus-Seniorprofessur für Physik- und Astronomiedidaktik

apl. Prof. Dr. Karl-Heinz Lotze

Adresse: August-Bebel-Str. 4, 07743 Jena

Homepage: www.physik.uni-jena.de/didaktik

AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie

Dr. Ronny Nawrodt (komm. Leitung), Sen.-Prof. Dr. Karl-Heinz Lotze

Forschungs- und Arbeitsschwerpunkte

- Aufbereitung moderner Forschungsthemen im Rahmen der Elementarisierung mit Fokus auf Gravitationswellenphysik, Astronomie sowie Kosmologie
- Fachdidaktische Ausbildung der Lehramtsstudierenden in den Fächern Physik und Astronomie
- Durchführung von Unterrichtseinheiten im Schülerlabor, Integration des Schülerlabors in Ausbildung der Lehramtsstudierenden, Entwicklung neuer Lehrmittel und -konzepte
- Angebote zur Lehrerweiterbildung, Begabtenförderung sowie Öffentlichkeitsarbeit

Aufbereitung moderner Forschungsthemen

Ein wichtiges Tätigkeitsfeld der Arbeitsgruppe ist die Auseinandersetzung mit dem erst neu entstandenen Feld der Gravitationswellenastronomie, das unmittelbar nach der ersten Detektion von Gravitationswellen im Jahre 2015 geboren wurde. Die Umsetzung relevanter Aspekte dieses Forschungsfeldes fokussiert auf die technische Realisierung solcher Detektoren sowie auf die Frage „Was sind Gravitationswellen?“. Eine schulgerechte Aufarbeitung erfolgt dabei durch Ausarbeiten und Umsetzen von Lehrerweiterbildungen, Betreuung von Seminarfacharbeiten begabter Schülerinnen und Schüler sowie die Betreuung von „Jugend Forscht“-Projekten.

Im Rahmen der Wilhelm und Else Heraeus-Seniorprofessur fanden die bundesweite Lehrerfortbildung Astronomie in Jena, ein DPG-Lehrerfortbildungskurs in Bad Honnef sowie eine He-

raeus-Sommerschule in Heidelberg statt. Ziel war es, einem breiten Publikum aus Lehrern und Studierenden moderne Aspekte der Astronomie zu vermitteln und mit Kolleginnen und Kollegen in den wissenschaftlichen Austausch zu treten. Zusätzlich wurde die Astronomie-Drittfachausbildung in Halle unterstützt.

Des Weiteren wurden im Rahmen der Seniorprofessur Modelle entwickelt, die den Effekt von Galaxien als Gravitationslinsen simulieren können. Hierzu wurden optische Freiformkomponenten berechnet und in den wissenschaftlichen Werkstätten der Fakultät umgesetzt.

Völker S., Kroker S., Nawrodt R. (2017): Moderne Wissenschaft spielerisch erleben – Wir bauen einen Gravitationswellendetektor. *Astronomie + Raumfahrt* 54 (2017) 5.

Quetz A. M., Völker S. (2017): Zum Nachdenken: Unser Sonnensystem: Astronomische Aufgaben aus 35 Jahren *Sterne und Weltraum*. Springer Spektrum.



Abb. 1. Teilnehmende aus Jena, Heidelberg, Padua sowie Florenz an der Heraeus-Sommerschule 2017 in Heidelberg. Foto: Pössel/Heidelberg.

Arbeitsschwerpunkte der AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie



Abb. 2. Studentische Betreuer und Betreuerinnen der Langen Nacht der Wissenschaften 2017.
Foto: AG PAD.



Abb. 3. Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren mit LEGO®-Bauelementen.
Foto: AG PAD.



Abb. 4. Schülerin bei der Untersuchung der optischen Abbildung am Auge.
Foto: AG PAD.

Die Arbeitsgruppe bildet Lehrkräfte für die Unterrichtsfächer Physik und Astronomie sowohl theoretisch als auch laborpraktisch in der Fachdidaktik aus.

Die Arbeitsgruppe betreibt das **Schülerlabor** der Physikalisch-Astronomischen Fakultät. Seit Jahren steigen die Besucherzahlen; im Jahr 2017 waren 800 Schülerinnen und Schüler zu Gast. Dabei werden Versuche vom Grundschul- bis zum Oberstufenniveau angeboten. Als besonderes Angebot werden Versuche und Messmöglichkeiten zur Verfügung gestellt, die in der Schule nicht gegeben sind (z.B. Schülerversuche zur Radioaktivität, parallele Versuche zum Oszilloskop, etc.). Die Versuche werden in Absprache mit uns passend zum Unterricht, Anlass des Besuchs und Vorkenntnissen der Schülerinnen und Schüler individuell ausgewählt.

Das Schülerlabor ist in der Ausbildung unserer Studierenden im Lehramt eingebunden und ermöglicht so unmittelbar realistische Übungsphasen. Im Rahmen des Fachdidaktikseminars wurde eine Stationsarbeit für körperlich und geistig behinderte Schülerinnen und Schüler entwickelt und erprobt. Dabei wurden Möglichkeiten der Inklusion in der Schule diskutiert und erfolgreich umgesetzt.

Als besonderes Highlight wurden zahlreiche Versuche zur **Langen Nacht der Wissenschaften** 2017 mit den Besuchern gemeinsam durchgeführt. Mehr als 500 Besucher kamen an diesem Abend in die Räume der Arbeitsgruppe.

Im Rahmen des **fachdidaktischen Kolloquiums** der mitteldeutschen Universitäten wurde die Vernetzung zu anderen Arbeitsgruppen ausgebaut. Studierende erhielten die Möglichkeit, an diesem Kolloquium teilzunehmen. Inhaltlich wurde 2016 über den gerade erfolgten ersten Nachweis von Gravitationswellen und 2017 über Messfehler in der Schule diskutiert.

Die Arbeitsgruppe Fachdidaktik unterhält sehr enge Kontakte zu lokalen Schulen und ist somit der Ansprechpartner für mögliche **Öffentlichkeitsarbeit**. Dazu gehören u.a. die jährliche Beteiligung am „Girls Day“, das „Girls Lab“, Veranstaltungen für junge Flüchtlinge oder aber die Förderung begabter Schülerinnen und Schüler.

Gemeinsame Berufungen mit außeruniversitären Instituten

Foto: IPHT, Sven Döring



Foto: Helmholtz-Institut Jena



Foto: Thüringer Landessternwarte Tautenburg



Leibniz-Institut für Photonische Technologien

Lehrstuhl für Faseroptik und -sensorik

Prof. Dr. Markus A. Schmidt

Lehrstuhl für Wellenleiteroptik/Faseroptik

Prof. Dr. Tomáš Čížmár

Lehrstuhl für Festkörperphysik /Quantendetektion

Prof. Dr. Heidemarie Schmidt

Helmholtz-Institut Jena

Lehrstuhl für Atomphysik hochgeladener Ionen (siehe IOQ)

Prof. Dr. Thomas Stöhlker

Lehrstuhl für Laserteilchenbeschleunigung (siehe IOQ)

Prof. Dr. Matt Zepf

Lehrstuhl für Theorie korrelierter Quantensysteme in intensiven Feldern (siehe TPI)

Prof. Dr. Stephan Fritzsche

Thüringer Landessternwarte Tautenburg

Lehrstuhl für Astronomie

Prof. Dr. Artie Hatzes

Professur für Faseroptik Prof. Dr. Markus A. Schmidt

Forschungsschwerpunkte

- Untersuchung der Generation von Licht auf Basis von nichtlinearen Wechselwirkungen in mikrostrukturierten hybriden optischen Glasfasern und hybriden planaren Wellenleitern. Der Schwerpunkt liegt derzeit auf der Superkontinuumsgeneration in Flüssigkernwellenleitern zur gezielten Adressierung spezieller Spektralbereiche, welche vorzugsweise im mittleren Infraroten liegen.
- Erforschung und Implementierung neuartiger Sensorkonzepte mittels hybrider Fasern mit dem Fokus auf Detektion einzelner Nanoobjekte wie Viren oder DNA-Fragmente. Im Mittelpunkt der Aktivitäten stehen Fragestellungen aus den Bereichen der Nanospektroskopie, des optischen Einfangs von Mikro- und Nanopartikeln mittels optischer oder elektrostatischer Fallen, der Plasmonik und der Nanooptik im allgemeinen.
- Entwicklung, Untersuchung und Realisierung neuer Faserkonzepte und -typen für Anwendungen im Bereich der Lebenswissenschaften. Derzeit fokussieren sich die Aktivitäten auf Hohlkernfasern zur Erschließung von Spektralbereichen, die mittels üblicher Fasern schwer zugänglich sind.

Ultrabreite Superkontinuumsgeneration über drei Oktaven durch resonanzinduziertes Dispersionsmanagement

Derzeitige Vollglasfasersysteme zeigen aufgrund von starken Materialverlusten eine spektrale Bandbreitenbegrenzung insbesondere für Wellenlängen im UV-Bereich. Eine Lösung stellen gasgefüllte Hohlkernfasern dar, da sich aufgrund der geringen Feldüberlappung der propagierenden Mode mit dem absorbierenden Glasmaterial eine sehr geringe Dämpfung bei kurzen Wellenlängen ergibt. Somit sind diese Fasern, welche gleichzeitig die Nutzung von großen Faserkernra-

dien ermöglichen, ideal geeignet für die Leistungsskalierung von Superkontinuumquellen bei gleichzeitig ultrabreiter spektraler Bandbreite im Ultravioletten.

In Kooperation mit der Gruppe von Prof. Spielmann vom Institut für Optik und Quantenelektronik (IOQ) wurde erstmals gezeigt, dass durch gezielte Manipulation der Pulsdispersion einer Krypton-gefüllten Hohlkernfaser extrem breitbandige Superkontinua über drei Oktaven bis tief in den UV-Bereich generiert werden können, was den derzeitigen Weltrekord in Bezug auf die erzielte Bandbreite aus einem einzelnen Wellenleiter darstellt. Das Kernstück dieses Ansatzes ist eine am Leibniz-IPHT hergestellte mikrostrukturierte anti-resonante Hohlkernfaser, welche eine geometrie-induzierte optische Resonanz in der Nähe der Laserpumpwellenlänge aufweist. Die ablaufenden ultraschnellen Prozesse als Folge einer kontrollierbaren Wellenleiterresonanz definieren eine konzeptionell neue Art der Breitbandlichtgeneration und stellen einen fundamental neuartigen Ansatz in Bezug auf Dispersionsmanagement gegenüber einfachen Kapillaren oder anderen Hohlkernfasertypen dar.

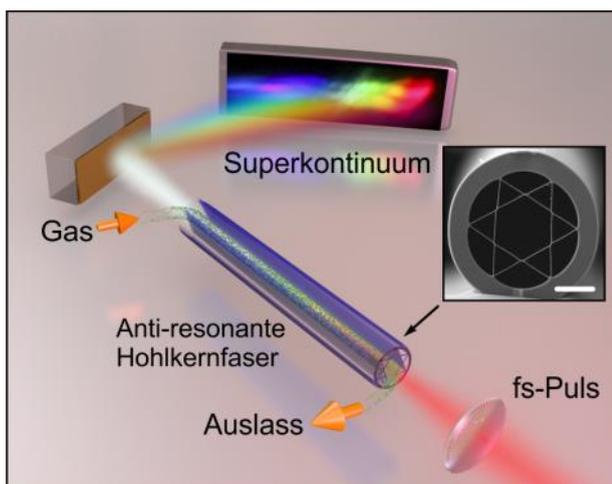


Abb. 1. Superkontinuumsgeneration in einer gasgefüllten Hohlkernfaser mittels Dispersionsmanagements.

R. Sollapur *et al* (2017). Resonance-enhanced multi-octave supercontinuum generation in antiresonant hollow-core fibers. *Nature Light: Science & Applications* 6, e17124. doi:10.1038/lsa.2017.124

Solitonen-basierte hoch-kohärente Superkontinuums- generation im mittleren Infrarotbereich

Durch Bestimmung der Lichtabsorption eines Materials im mittleren Infrarotbereich können ausgewählte Moleküle mittels Fingerprintanalyse aufgrund von molekularen Vibrationsübergängen qualitativ und quantitativ nachgewiesen werden. Insbesondere bei vergleichsweise langen Eingangspulsen sind derzeitige Superkontinuumsquellen hochgradig anfällig gegenüber thermischem Phasenrauschen und ergeben eine nicht-zufriedenstellende Kohärenz.

Es konnten erstmals Superkontinua in rekonfigurierbaren, flüssigkeits-basierten Faserwellenleitern erzeugt werden, welche deutlich verbesserte Kohärenzeigenschaften und neue physikalische Phänomene im Infrarotbereich aufzeigten. Das Kernstück dieses Ansatzes basiert auf anorganischen Flüssigkeiten als Kernmaterial, welche eine neuartige nichtlineare Antwort (sogenannte nicht-instantane Antwort) der Faser ergibt, die mit Vollglassystemen nicht erreicht werden kann. Es konnte erstmals gezeigt werden, dass diese spezielle nichtlineare Antwort einerseits die Be-

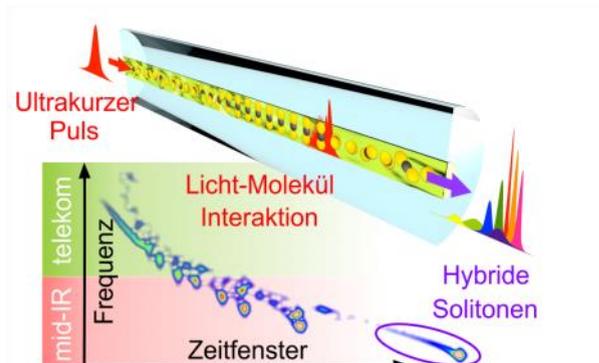


Abb. 2 Hybrid-Solitonen-basierte kohärente Superkontinuums- generation in flüssigkeitsgefüllten Glasfasern.

obachtung bisher unentdeckter nichtlinearer optischer Zustände (sog. hybride Solitonen) und andererseits die Erzeugung von hochkohärenten Superkontinua im mittleren Infrarotbereich bei verhältnismäßig langen Pulslängen ermöglicht.

Chemnitz M., Gebhardt M., Gaida C., Stutzki F., Kobelke J., Limpert J., Tünnermann A., Schmidt M. A. (2017). Hybrid soliton dynamics in liquid-core fibres. *Nat. Commun.* 8, 42. doi:10.1038/s41467-017-00033-5.

Faser-integrierte plasmonische Nanosonden mit sub-10nm Durchmesser.

Plasmonische Nanospitzen spielen eine wesentliche Rolle im Bereich der Nahfeldmikroskopie zur Charakterisierung von kleinsten optisch aktiven Struktureinheiten bis in den Bereich von einzelnen Molekülen.

Durch Integration von metallischen Nano- drähten in den Kern von mikrostrukturierten Glasfasern konnten neuartige plasmonische Nanospitzen an der Endfläche der verwendeten Fasern realisiert werden. Durch ein neuartiges Fabrikationsverfahren konnten Spitzen mit Enddurchmessern kleiner als 10nm implementiert werden, was grundsätzlich eine deutlich verbesserte räumliche Auflösung ergibt. Durch die Integration in eine optische Faser ergibt sich somit eine Sonde, welche mit derzeit im Einsatz befindlichen Nahfeldmikroskopen kompatibel ist und einen sehr flexiblen Einsatz ermöglicht.

Tuniz A., Chemnitz M., Dellith J., Weidlich S., Schmidt M. A. (2017). Hybrid-mode assisted long-distance excitation of short-range surface plasmons in a nanotip-enhanced step-index fiber. *Nano Lett.* 17, 631. doi: 10.1021/acs.nanolett.6b03373

Tuniz A. and Schmidt M. A. (2016). Broadband efficient directional coupling to short-range plasmons: towards hybrid fiber nanotips. *Opt. Exp.* 24, 7507. doi: 10.1364/OE.24.007507

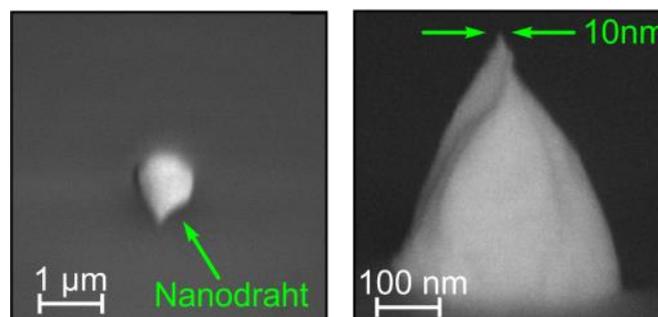
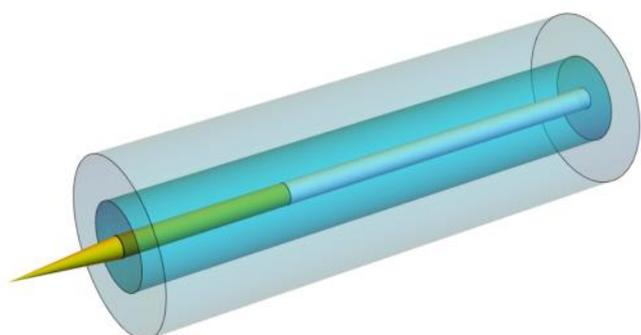


Abb. 3. Faser-integrierte Nahfeldsonde mit zwei REM-Aufnahmen der eigentlichen Spitzesektion.

Abbe Center of Photonics

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Christian Spielmann

Das Abbe Center of Photonics stellt sich vor:

- Hochschulzentrum gemäß §27 Abs. 3 Nr. 9 des Thüringer Hochschulgesetzes
- Im Jahr 2010 gegründet
- Mitglieder: 47 Wissenschaftler (principal scientists), darunter 39 Hochschullehrer, die schwerpunktmäßig, jedoch nicht ausschließlich der Physikalisch-Astronomischen Fakultät zuzuordnen sind
- Fakultäts- und disziplinübergreifende Vertretung und Institutionalisierung der Profillinie LIGHT
- Zentrale Aufgabe: Vernetzung und Ausbau der vorhandenen Optik- und Photonikkompetenzen am Standort, um auch in Zukunft wesentliche Beiträge zur Grundlagen- und angewandte Forschung zu liefern

Die wissenschaftlichen Aktivitäten des ACP sind durch leitende Positionen seiner Mitglieder eng mit dem Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, dem Leibniz-Institut für Photonische Technologien sowie dem Helmholtz-Institut Jena abgestimmt. Strategische Kooperationen in Forschung und Ausbildung werden zudem mit mehr als 20 Industrieunternehmen, insbesondere der Carl Zeiss AG, unterhalten. Darüber hinaus spielen ACP-Mitglieder in einer Reihe strategischer Forschungs- und Verbundprojekte in der Optik und Photonik, aber auch in peripheren Wissenschaftsgebieten wie den Lebenswissenschaften, eine führende Rolle.

Die Leitung des ACP obliegt einem von den ACP-Mitgliedern gewählten, 5-köpfigen Direktorium. Dieses besteht aktuell aus den Profs. Stefanie Gräfe, Jürgen Popp, Christian Spielmann, Thomas Pertsch und Andreas Tünnermann. Das Amt des geschäftsführenden ACP-Direktors wird durch eine interne Wahl geregelt. Am 01.06.2016 wurde dieses Amt von Andreas Tünnermann an Stefanie Gräfe übergeben, und seit dem 01.06.2017 ist Christian Spielmann der geschäftsführende Direktor des ACP. Das Direktorium wird in seiner operativen Arbeit durch die ACP-Geschäftsstelle unterstützt.

Das ACP wird seit seiner Gründung durch verschiedene Strukturkonzepte, u.a. der Carl Zeiss Stiftung und der Thüringer Landesregierung, gefördert. Maßgeblich ist dabei aktuell die ProExzellenz-Landesförderung des Roadmap-Vorhabens "ACP²⁰²⁰ – Agenda für Exzellente Photonik" in Höhe von 3,9 Mio. Euro für den Zeitraum 2015 bis 2020. Eckpfeiler der Agenda sind die flexible, interne Initiierung von sogenannten ACP Explore Forschungsprojekten zur Verbesserung der Antragsfähigkeit in strukturierten Förderformaten der DFG und EU, die Einrichtung

einer ACP-Nachwuchsgruppe (deren Leitung 2015 durch Jun.-Prof. Dr. Isabelle Staudé besetzt wurde), die Weiterentwicklung und Verstetigung professioneller Forschungsmanagement-Strukturen, das internationale Gastprofessorenprogramm sowie die Fortschreibung der strategischen Internationalisierung des Ausbildungskonzepts.

Inhaltlich definiert sich das ACP über die drei Forschungsschwerpunkte Ultraoptik, Starkfeldphysik und Biophotonik sowie die Lehre, die durch die Abbe School of Photonics vertreten wird. In der Ultraoptik wird in den Bereichen Laserphysik, Nanooptik, Photonische Materialien und Optische Systeme die komplette Kontrolle von Licht in all seinen Eigenschaften angestrebt. Ziel ist es, Licht auf allen Orts-, Zeit- und Frequenzskalen beispielsweise als Instrument, Schalter, Indikator oder Informationsträger nutzbar zu machen. Die Starkfeldphysik widmet sich der Erzeugung von Licht mit extremen Eigenschaften und bei relativistischen Feldintensitäten. Dies umfasst die Wechselwirkung von Materie mit ultrakurzen, spitzenintensiven Laserpulsen, nichtlineare und relativistische Laserphysik ebenso wie die Röntgenoptik. In der am stärksten interdisziplinär agierenden Forschungssäule Biophotonik wird der Einsatz innovativer optischer und photonischer Technologien in den Lebenswissenschaften und in der Medizin vorangetrieben. Der Schwerpunkt Biophotonik schließt beispielsweise neuartige spektroskopische Techniken, die biomedizinische Bildgebung und Mikroskopie sowie die Chipbasierte optische Analytik und Diagnostik ein. Alle drei Forschungsschwerpunkte sind durch die stark internationalisierte Ausbildung der ebenfalls fakultätsübergreifenden Abbe School of Photonics quervernetzt (Abbildung 1).

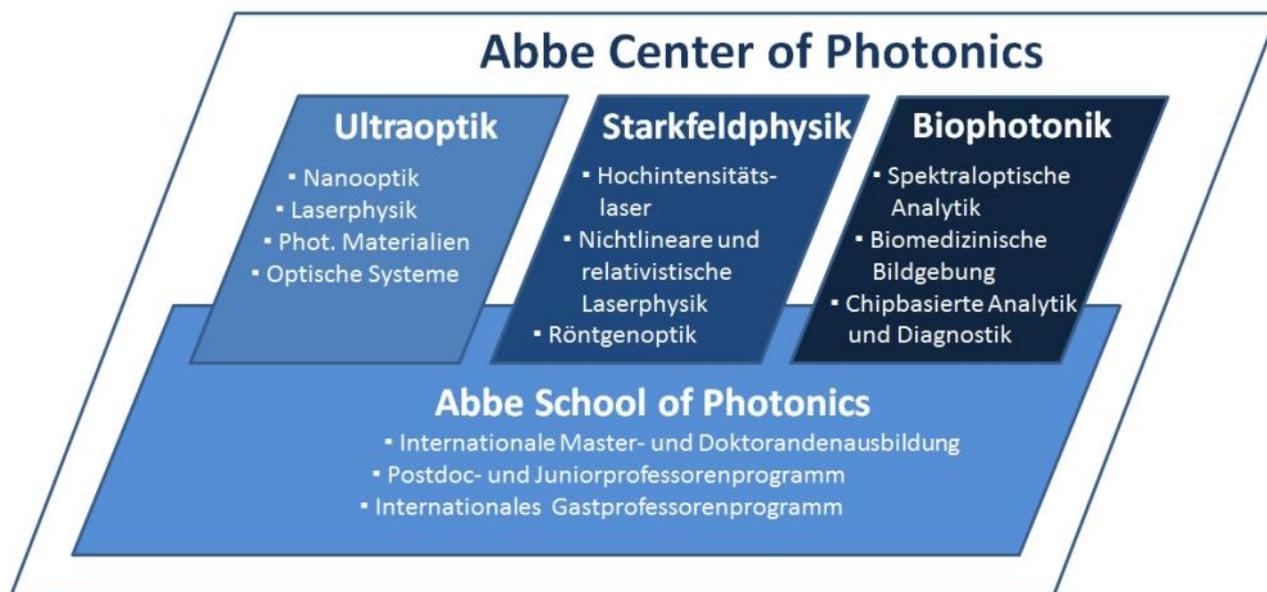


Abbildung 1: Forschungsschwerpunkte des Abbe Center of Photonics und Quervernetzung durch die Ausbildung in der Abbe School of Photonics.

Aktivitäten des Abbe Centers of Photonics

Die Aktivitäten des ACP in den Jahren 2016 und 2017 waren so zahlreich, dass hier nur eine schlaglichtartige Benennung erfolgen soll. Die strategischen Handlungsmaximen des ACP erfolgten wesentlich anhand der Empfehlungen des wissenschaftlichen Beirats 2015. An der wissenschaftlichen Ausrichtung des ACP wurde auf drei Workshops unter Einbindung unterschiedlicher ACP-Mitglieder gearbeitet. Ein Schwerpunkt dieser Treffen wurde auf die Diskussion der bisherigen Ergebnisse und die weitere Ausrichtung des Roadmap-Prozesses "ACP²⁰²⁰ – Agenda for Excellent Photonics" gelegt. Im Zeitraum 2016/17 wurden insgesamt zehn ACP Explore Projekte gestartet bzw. bearbeitet, in denen kleinformatige Forschungsprojekte mit Budgets von typischerweise 60.000 Euro bis 100.000 Euro eingerichtet wurden. Hauptziel dieser Projekte war und ist es, die für strukturierte DFG- und EU-Vorhaben zwingend notwendigen wissenschaftli-

chen Vorarbeiten und Vernetzungen kurzfristig bereitzustellen und damit die Wettbewerbslage der ACP-Wissenschaftler punktuell und zielgenau zu verbessern.

Die weithin am deutlichsten sichtbare Veränderung wurde in Bezug auf den mit dem ACP gleichnamigen Forschungsneubau auf dem Beutenberg Campus in Jena erzielt. Nach intensivsten Abstimmungsprozessen zwischen ACP-Geschäftsführung und -Wissenschaftlern u.a. mit Fördergebern, Architekten und Bauplanern sowie einer nicht unwesentlichen Verzögerung des Bauvorhabens in der zurückliegenden Phase der Planung, konnte dieses hochkomplexe Forschungsgebäude im April 2016 an die Universität Jena übergeben werden. Die Finanzierung des Neubaus in einer Gesamthöhe von 25 Mio. Euro erfolgte hälftig aus Bundes- und Landesmitteln.



Abbildung 2: Feierliche Einweihung des Forschungsneubaus ACP auf dem Beutenberg Campus am 5. Juli 2016 unter Beteiligung von Ministerpräsident Bodo Ramelow und des Thüringer Wissenschaftsministers Wolfgang Tiefensee (Bild Mitte 1. und 2. von links)

Wissenschaftliche Werkstätten/Werkstattverbund

Leiter: Andreas Winnefeld

Struktur und Aufgabenschwerpunkte

- Der Werkstattverbund zwischen Physikalisch-Astronomischer und Chemisch-Geowissenschaftlicher Fakultät ist die zentrale Infrastruktur zur Sicherung der technischen Voraussetzungen für Lehre und Forschung und wird durch den Technischen Leiter der PAF geführt, der direkt dem Dekan unterstellt ist .
- Der Werkstattverbund gliedert sich in Konstruktion, Feinwerktechnik 1 und 2, Servicepunkt Mechanik, Schlosserei, Elektrotechnik und Elektronik.
- Die Aufgaben erstrecken sich von der Planung, Entwicklung und Konstruktion von Geräten, Apparaturen, Lehr- und Demonstrationsmodellen bis zum Aufbau kompletter Versuchsanlagen für die Forschung mit Inbetriebnahme, Wartung und Reparatur. Dabei ist Voraussetzung, dass die Werkstätten unmittelbar an Forschung und Lehre beteiligt sind und nicht rein dienstleistungsorientiert arbeiten.

Organigramm und Abläufe



Nach Auftragserteilung wird in Wechselwirkung zwischen der Technischen Leitung, der Abt. Konstruktion und den Werkstattleitern der technologische Ablauf festgelegt. Bei umfangreichen Projekten werden dem Auftraggeber Kostenabschätzungen vorgelegt, Varianten der Kooperationen verglichen und bereits erste Angebote über notwendige Materialien und Normteile eingeholt.

Die Abrechnung der Aufträge erfolgt mittels eines Systems, in welchem die jeweiligen Kosten, differenziert nach Lehre und haushalts- bzw. drittmittelfinanzierter Forschung abgebildet werden. Jeder Auftrag wird hinsichtlich Wirtschaftlichkeit überprüft.

Die Aufträge werden von den Mitarbeitern aller beteiligten Partner am Werkstattverbund (Physik, Chemie, Biologie und HI-Jena) bearbeitet und auch exakt mit diesen Partnern verrechnet.

Abb. 1. Struktur Wissenschaftliche Werkstätten



Mechanische Werkstätten Feinwerktechnik 1 und 2, Servicepunkt Mechanik, Schlosserei mit Konstruktion

Um die mechanischen Aufgabenschwerpunkte zu erfüllen, stehen konventionelle Werkzeugmaschinen (drehen, fräsen, schleifen, bohren, sägen u.a.), 4 CNC-gesteuerte Universalfräsmaschinen, eine CNC-Dreh(-fräs)maschine und 4 digital-gesteuerte Leit- und Zugspindel-Drehmaschinen zur Verfügung. Bearbeitbare Größen sind:

- Drehen bis Ø 500 x 1000 mm
- Fräsen bis 800 x 400 mm
- Schleifen 400 x 300 mm (Fläche)
- Bohren bis Ø 40 mm
- Gravieren bis Größe 18 mm

Unverzichtbarer Bestandteil der Fertigung ist die Schlosserei. Hier stehen moderne Schweißverfahren (WIG, CO₂, E-Handschiessen) sowie diverse Blechbearbeitungsverfahren zur Verfügung.

In der Konstruktionsabteilung werden komplexe mechanische Baugruppen und Geräte mittels CAD (3D) entwickelt. Komplizierte Bauteile werden dann über CAM in die CNC-Fertigung exportiert.



Abb.2. Konventionelle Fertigung
Foto: Anna Schroll



Abb.3. CO₂-Schweißen, Foto: Anna Schroll

Elektrotechnik, Elektronik

Der Bereich Elektronik entwickelt und fertigt elektronische Geräte und Anlagen der Analog-, Digital-, Hochspannungs/-strom-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik. Das Spektrum reicht von kleinen Zusatzgeräten über hochgenaue Positionier- und Antriebssysteme, Spezialmessgeräte, Netzgeräte für Hochleistungslaser u.v.a. bis hin zu kompletten computergesteuerten Anlagen. Ein wichtiger Aufgabenteil ist auch Service und Reparatur von kommerziell beschafften Anlagen und Geräten.

Der Bereich Elektrotechnik ist verantwortlich für die Entwicklung und den Aufbau spezieller elektrischer Baugruppen und Versuchseinrichtungen und für Umbauten an elektrischen Apparaturen in Laboren und Praktikumseinrichtungen. Der Bereich ist Ansprechpartner bei Neu- und Erweiterungsinstallationen von Laboren und Funktionsräumen. Hinzu kommen die gesetzlich vorgeschriebenen Überprüfungen aller elektrischen Geräte und Anlagen.

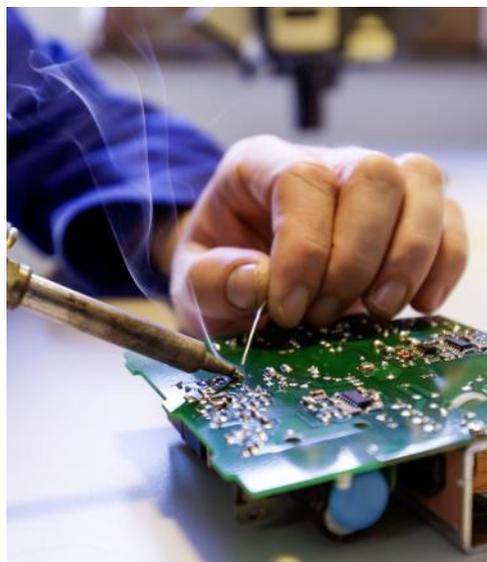


Abb.4. Reparatur Platine, Foto: Anna Schroll



Abb.5-12. Ausgewählte Arbeiten 2017, Fotos: Bernhard Klumbies, Peter Hanse

STUDIUM UND LEHRE

Studienangebot

Studiengänge und Besonderheiten

- B.Sc. Physik: 6 Semester, Studienbeginn: Sommer– und Wintersemester, Grundlage für die Studiengänge M.Sc. Physik, M.Sc. Photonics oder den interdisziplinären Studiengang M.Sc. Medical Photonics
- B.Sc. Werkstoffwissenschaft: 6 Semester, Studienbeginn: Wintersemester, Grundlage für den Studiengang M.Sc. Werkstoffwissenschaft
- Lehramt Physik Gymnasium (9 Semester) und Regelschule (8 Semester) nach dem Jenaer Modell mit frühzeitigem Praxisbezug, Studienbeginn: Wintersemester
- M.Sc. Physik: 4 Semester, deutsch-englischsprachiger Studiengang seit WS 2016/17, Studienbeginn: Sommer– und Wintersemester, Vertiefungsmöglichkeiten: Astronomie/Astrophysik, Festkörperphysik/Materialwissenschaft, Quanten– und Gravitationstheorie, Optik
- M.Sc. Photonics: 4 Semester, englisch-sprachiger Studiengang mit Schwerpunkt Optik/Photonics und hohem Anteil an internationalen Studierenden, Forschungspraktika in Forschungsinstituten und bei Industriepartnern, Studienbeginn: Wintersemester, Bewerbung [online](#).
- M.Sc. Werkstoffwissenschaft: 4 Semester, Studienbeginn: Sommer– und Wintersemester

Weiterentwicklung der Sommerimmatrikulation im B.Sc. Physik

Seit 2014 besteht die Möglichkeit sich im B.Sc. Physik auch zum Sommersemester zu immatrikulieren. Von Anfang an stand dabei nicht nur die Neugewinnung neuer Studierender im Vordergrund, sondern auch die bessere Durchlässigkeit des Studiums durch die Möglichkeit einer gestreckten Studieneingangsphase. Insbesondere werden die Vorlesungen und damit auch die Prüfungen zu den „Mathematischen Methoden der Physik I“, zur „Theoretischen Mechanik“, zur „Experimentalphysik I“ sowie zur „Linearen Algebra/Geometrie“ jedes Semester angeboten. Durch das verbesserte Vorlesungsangebot können Auslandsaufenthalte leichter auch schon im Bachelorstudium integriert werden.

Die tatsächlichen Studierendenzahlen in der Sommerimmatrikulation sind noch nicht befriedigend, jedoch aufsteigend. Nach dem Sommersemester 2017 haben ca. 10 Studierende alle Prüfungen bestanden. Der seit Beginn der Sommer einschreibung gültige Musterstudienplan wurde zum Sommersemester 2016 noch einmal überar-

beitet, sodass ein gutes Gleichgewicht zwischen erhöhtem Lehrangebots und der Lehrbelastung insbesondere des Theoretisch-Physikalischen Instituts sowie der Fakultät für Mathematik und Informatik gefunden wurde. Wichtige Neuerungen:

- „Experimentalphysik I und II“ werden im ersten Semester vollständig gehört und erst zum 2. Semester startet das Grundpraktikum.
- „Quantentheorie“ und „Elektrodynamik“ werden im Vergleich zur Wintereinschreibung in umgekehrter Reihenfolge gehört. Das entlastet die Lehramtsvorlesungen zur „Quantenmechanik“ und „Elektrodynamik“, welche zuvor gemeinsam gehört wurden.
- „Optik und Wellen“ und „Festkörperphysik“ werden ebenso zusammen mit den Winterimmatrikulierten gehört.
- Die Analysisausbildung geht nach dem neuen Plan vom 2. bis zum 4. Semester.

Empfehlungen für die Studienschwerpunkte im M.Sc. Physik

Im Masterstudium Physik entscheiden sich die Studierenden für eine von 4 Spezialisierungsrichtungen:

- Optik
- Astronomie/Astrophysik
- Festkörperphysik/Materialwissenschaft
- Gravitations- und Quantentheorie

In der gewählten Spezialisierungsrichtung werden insbesondere ein Oberseminar und forschungsnahe Spezialvorlesungen belegt, sowie das Thema der Masterarbeit gewählt. Um den Studierenden bei der Auswahl der Vertiefungsrichtung und Planung des Masterstudiums zu unterstützen wurden, insbesondere auf Initiative der Fachschaft, zwei Maßnahmen neu ergriffen:

Zum einen finden sich auf der Homepage konkrete Empfehlungen für Vorlesungen bzw. Pläne für den Ablauf des Masterstudiums in der geplanten Forschungsrichtung.

Zum anderen wurden erstmalig zum Wintersemester 2017/18 Informationsveranstaltungen zu den vier o.g. Spezialisierungsrichtungen für Bachelorstudierende angeboten. Ziel ist es, unsere eigenen Bachelorstudierenden für ein Masterstudium an unserer Fakultät zu motivieren und rechtzeitig mit der Spezialisierung zu beginnen. So kann durch eine bessere Planung auch eine wesentliche Voraussetzung geschaffen werden, um das Masterstudium in der Regelstudienzeit von 4 Semestern zu beenden.

	Compulsory	Theory of Gravitation	Quantum Theory	Math./Num. Supplement
1. Term	Advanced Quantum Theory (8) Advanced Laboratory (4)	General Relativity* (8)	Particles and Fields (4)	Computational Physics III Advanced Analysis
2. Term	Graduate Seminar (4) Advanced Laboratory (4)	Rel. Astrophysics (4) Specialization GR	Quantum Field Theory* (8) Specialization QFT	Math. Methods in Physics Differential Geometry
3. Term	Project preparation	Specialization GR	Specialization QFT	Specialization Math./Num.
4. Term	Master's thesis	Specialization GR	Specialization QFT	Specialization Math./Num.

The lecture and seminar courses during the first two terms are offered each year (credit points in parentheses).
The lecture courses marked with * are essential for the subsequent courses and should be attended.
The Advanced Quantum Theory course is not a necessary prerequisite for QFT. The latter can already be attended towards the end of the Bachelor studies.

Abb. 1. Studienempfehlung für den M.Sc. Physik am Beispiel „Gravitations- und Quantentheorie.
Foto: Webseite Theoretisch-Physikalisches Institut.

Studierendenwerbung und Outreach

Angebote speziell für Schülerinnen und Schüler und Schulklassen

- *Rent a Prof.*: Das seit einigen Jahren etablierte Programm soll Schülerinnen und Schülern einmal mehr in der Schulzeit die Gelegenheit geben mit Physikerinnen und Physikern in Kontakt zu kommen und einen Vortrag zu verfolgen, welcher über Lehrplanthemen hinausgeht. Im Durchschnitt wird einmal im Monat ein Vortrag an einer Schule oder für Schülerinnen und Schüler an unserer Fakultät gehalten. Die vielfältige Themenliste findet sich auf der Homepage unter www.physik.uni-jena.de/rentaprof
- *Schülerlabor*: Im Schülerlabor experimentieren Schülerinnen und Schüler zu ausgewählten Themen. Im Rekordjahr 2017 kamen insgesamt 800 Schülerinnen und Schüler mit ihren Lehrkräften. Mehr dazu [online](#) und auf den Seiten der AG Didaktik der Physik und Astronomie.
- *Workshop „Physik für Schülerinnen“*: Dieser viertägige Ferien-Workshop richtet sich speziell an Schülerinnen. Die intensive Beschäftigung mit Physik durch die Arbeit in kleinen Projektgruppen, das Halten eines Vortrages, den Besuch einer Vorlesung und das Absolvieren eines Praktikumsversuches gibt ihnen Gelegenheit, die eigenen physikalisch-technischen Fähigkeiten zu erkunden.
- *Physikarena*: Mindestens einmal pro Semester kommen Schulklassen in den großen Hörsaal im Max-Wien-Platz. Gerade bei Grundschulklassen werden die Experimente in eine kleine Geschichte oder Show eingebettet. Auch die jährliche Weihnachtsvorlesung am letzten Donnerstag vor Weihnachten erfreut sich großer Beliebtheit. 2017 war der große Hörsaal der Physik praktisch ausgebucht.

Tage der Physik 2016 und 2017

Der Tag der Physik wird seit 2014 von wechselnden Instituten organisiert. Im März 2016 stand er unter dem Thema „Festkörperphysik und Materialwissenschaft“ und wurde vom Otto-Schott-Institut für Materialforschung und vom Institut für Festkörperphysik durchgeführt.

Im März 2017 stand der Tag der Physik unter dem Motto „Raum–Zeit–Materie“ und auch hier konnten durch interessante Mitmachexperimente

(Gedankenlabor u.a.), sowie Vorträge und Laborführungen zahlreiche Gäste an die Fakultät gelockt werden. Es hat sich gezeigt, dass bei rechtzeitigem Anschreiben der Schulen auch die Zielgruppe, also Schüler und Schülerinnen ab Klasse 8, erreicht werden. Für Schülerinnen und Schüler aus den Abschlussklassen liegt der Termin aufgrund der Abiturvorbereitungen jedoch ungünstig.



Abb. 1. Sehr erfolgreicher Tag der Physik 2016 zum Thema „Festkörperphysik– Materialwissenschaft“
Foto: Annegret Günther

Öffentliche Samstagsvorlesungen

Die öffentlichen Samstagsvorlesungen erfreuen sich ungebrochen großer Beliebtheit bei einem Publikum aller Altersklassen. Die Vorlesungen mit den höchsten Teilnehmerzahlen waren 2016 und 2017

- Astronomie mit Großteleskopen (285 Hörer)
- Schwarze Löcher & ihre mysteriösen Quanteneffekte (280 Hörer)
- Physik & Smartphone (265 Hörer)
- Auf der Suche nach der Genussformel (210 Hörer)
- Radioastronomie—Ein Lauschangriff auf das Weltall (210 Hörer)

Lange Nacht der Wissenschaften

Unsere Fakultät hat sich an vielen Standorten zur Langen Nacht der Wissenschaften engagiert. Am Beutenberg öffneten drei Institute ihre Tore: Institut für Angewandte Physik, Fraunhofer IOF Jena, und das Leibniz IPHT. Gute Stimmung gab es z.B. im Lichtlabor im Abbe Center of Photonics.

Im Stadtzentrum lud das Otto-Schott-Institut für Materialforschung zum Schauen und Mitmachen ein.

Das Institut für Festkörperphysik und das Institut für Optik und Quantenelektronik unterhielten am Max-Wien-Platz die zahlreichen Gäste mit Außenexperimenten und Elektronik—Lizenz zum Lötten.

In der Fachdidaktik der Physik und Astronomie war die Begeisterung besonders der kleinen Gäste nicht mehr zu überbieten. Das tolle Team von über 30 Lehramtsstudierenden verschiedener Studienjahre hat alles gegeben. Rund 600 Gäste konnten bei über 100 Experimenten aus verschiedenen Teilgebieten der Physik mitmachen.

Gestartet im Jahr 2014 berichten wir auf der Facebookseite der Fakultät www.facebook.de/pafjena über das Physikalische Kolloquium, Samstagsvorlesungen, Veranstaltungen der Fachschaft und auch über die eine oder andere Anekdote. Ein konstanter Leserstamm hat sich eingestellt.

Das gefällt uns.



Abb. 2. Bild von Prof. Spielmanns Samstagsvorlesung „Auf der Suche nach der Genussformel“



Abb. 3. Lange Nacht der Wissenschaften im Schülerlabor Foto: Dorit Schmidt



Abb. 4. Physikarena 2017 „Einführung in die physikalische Zauberkunst—kann ich glauben was ich sehe?“. Foto: Falk Ronneberger.

Studieneingangsphase

Vorkursangebot

- *Auffrischkurs Mathematik für B.Sc. Physik und Lehramt Physik*: Der zum Wintersemester 2015/16 eingeführte zweiwöchige Ferienkurs wird von der Fachschaft der Physik organisiert und durchgeführt.
- *Vorkurs Mathematik für B.Sc. Physik und Lehramt Physik*: Seit dem WS 2000/01 etablierter Vorkurs als Grundlage für das grundständige Studium, insbesondere auch für die Vorlesung „Mathematische Methoden der Physik I“. Der Vorkurs wird von ca. 80% der Studienanfänger und –anfängerinnen wahrgenommen und beinhaltet auch einige Themen, die schon über das Schulniveau hinausgehen wie die Einführung in die komplexen Zahlen.
- *Pre-Course Physics and Mathematics im M.Sc. Photonics*: Seit 2011 gibt es ein jeweils einwöchiges Vorkursangebot sowohl in Mathematik als auch in Physik um das Niveau der Studierenden des Masterstudienganges, welche zum Teil sehr unterschiedliche Bachelor-Abschlüsse haben, anzugleichen. Die Themen im Pre-Course Mathematics reichen dabei von Differentialrechnung mit mehreren Veränderlichen über Mehrfachintegrale bis zur Fourier-Analyse.

Im Fokus: Auffrischkurs Mathematik

Der Auffrischkurs Mathematik geht mit dem Wintersemester 2018/19 in seine 4. Runde. Initiiert und organisiert durch die Fachschaft ist das Ziel des Auffrischkurses, Abiturienten mit ihrem Wissen da abzuholen, wo sie in der Schule stehen geblieben sind. Inhalte des Auffrischkurses sind daher ausschließlich Themen aus der Schulmathematik, welche aber häufig nicht so ausgiebig besprochen werden, dass die Studienanfänger wirklich sicher damit umgehen können. So werden im Auffrischkurs u.a. das Lösen von Gleichungssystemen mit 2 und 3 Unbekannten, einfache Differentialrechnung, Polynomdivision, Vollständige Induktion und sicheres Rechnen eingeübt.

Begonnen mit 28 angemeldeten Teilnehmern, haben sich für den September 2017 38 Studienanfänger angemeldet, so dass jeweils 2 Übungsgruppen parallel betreut werden konnten. Der von der Fachschaft initiierte und organisierte Auffrischkurs wurde sehr positiv evaluiert, so dass er für die Immatrikulation zum Wintersemester sich als fester Bestandteil etabliert hat. Dazu haben sicher auch das kleine Rahmenprogramm (Wanderung, Grillen, Kaffeepausen) beigetragen. Auch bei Unterkunftsproblemen während des Kurses im September

konnte die Fachschaft weiterhelfen. Teilgenommen haben am Auffrischkurs v.a. zukünftige Bachelorstudierende (Physik), unter den Lehramtsstudierenden hoffen wir in Zukunft noch mehr zu erreichen. An den Auffrischkurs schließen sich i.d.R. unmittelbar die Studieneinführungstage und der lang etablierte Vorkurs Mathematik an. Auffrischkurs und Vorkurs sind mit den Inhalten aufeinander abgestimmt, in jedem Fall ist es möglich, auch erst zum Vorkurs einzusteigen.

In den vergangenen Semestern wurde auch der sehr aufwändig gestaltete Online-Mathematik-Brückenkurs zur Studienvorbereitung getestet. Dieses Angebot wurde von mehreren Universitäten getragen und weiterentwickelt und bis Ende 2016 von der DPG finanziell unterstützt. Trotz Informationen zum Onlinekurs auf der Homepage, haben nur verschwindend wenige Studienanfänger und –anfängerinnen den Kurs vollständig absolviert. Die Fakultät setzt damit klar auf einen persönlichen Kontakt und Präsenzkurse.

Tutorenprogramm

Seit dem Jahr 2010 gibt es vermehrt Tutorien, um Studierende im Semester engmaschiger begleiten zu können, weitere Möglichkeiten der Prüfungsvorbereitung zu schaffen und mehr Zeit zum angeleiteten, gemeinsamen Nachdenken über Physik und Mathematik zu geben („Hausaufgabenhilfe“). Angefangen mit Tutorien nur für die ersten Semester zur Angleichung der unterschiedlichen Niveaus, gibt es nun ein Tutorien-Programm, das bis ins Masterstudium reicht. Insbesondere gibt es Tutorien begleitend

- zu allen Theorievorlesungen für B.Sc. Physik und Lehramt.
- zu den Mathematikvorlesungen im B.Sc. Werkstoffwissenschaft,
- zu den Pflichtvorlesungen (Laser Physics, Fundamentals of Modern Optics, Structure of Matter) im M.Sc. Photonics
- sowie nach Bedarf für Experimentalphysik und Fortgeschrittene Quantentheorie im M.Sc. Physik

Ergänzend dazu wurden Tutorien im Rahmen der Physik–Ausbildung von Human– und Zahnmedizinstudierenden erfolgreich etabliert und systematisch ausgebaut. Neben Vorlesungsnach– und Klausurvorbereitung liegt dabei ein Schwerpunkt auf der Unterstützung der Praktika in diesem Ausbildungsabschnitt.



Die Tutorien werden seit Jahren in bewährter Weise von der Fachschaft und dem Studiendekanat (bzw. bis Ende 2016 durch ProQualität Lehre) ausgeschrieben. Tutoren erhalten in der Regel einen Vertrag über 20 h/ Monat. Neben den semesterbegleitenden Tutorien werden auch Tutorien zur Prüfungsvorbereitung und Zusatzkurse speziell für Lehramtsstudenten bei Bedarf angeboten.



Abb. 3. Pre-Course im M.Sc. Photonics
Foto: Dorit Schmidt.

Entwicklung der Studierendenzahlen

Maßnahmen zur Steigerung der Studierendenzahlen

- Ausweitung der Kapazitäten im M.Sc. Photonics auf 60 Studierende
- Weiterentwicklung des M.Sc. Physik zum englischsprachigen Studiengang – bisher jedoch mit geringem Erfolg
- Verbesserung der Studieneingangsphase durch Tutorienprogramme und Mathematik Auffrischungskurs
- Weiterentwicklung der Sommerimmatrikulation im B.Sc. Physik
- Outreach-Maßnahmen, insbesondere Kontakt zu Schulen, Überarbeitung der Webseiten für Schülerinnen und Schüler sowie Studieninteressierte

Grundständige Studiengänge

Nach zahlenmäßig sehr starken Anfängerzahlen 2010 bis 2012 war eine zuerst leichte, dann sehr starke Reduzierung der Anfängerzahlen in allen grundständigen Studiengängen, mit einem Tiefpunkt im Jahrgang 2014/15, an unserer Fakultät zu verzeichnen.

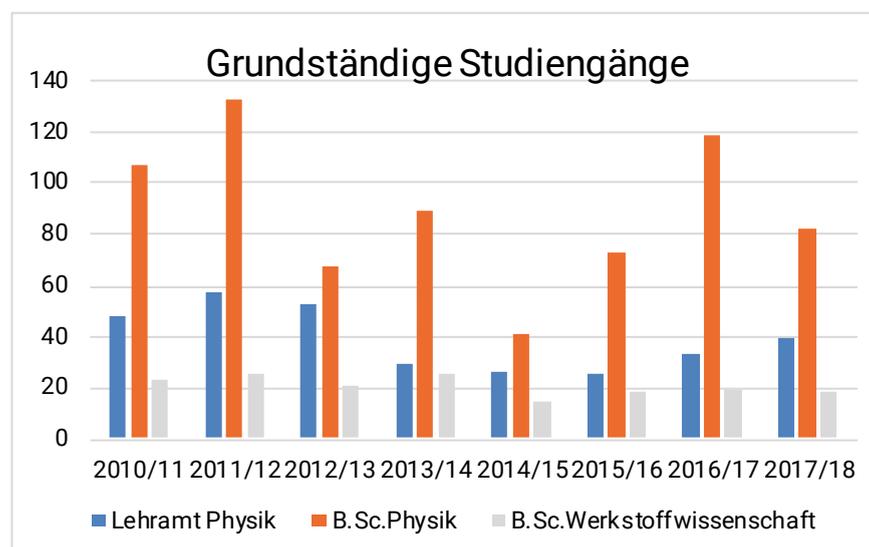
Während sich die Anfängerzahlen für Lehramt und B.Sc. Werkstoffwissenschaften auf niedrigem Niveau eingeschwungen hatten, brach die Studierendenzahl im B.Sc. Physik deutlicher ein. Dieser Trend konnte u.a. durch die konsequente Fortführung der Outreach-Aktivitäten gestoppt und teilweise umgekehrt werden.

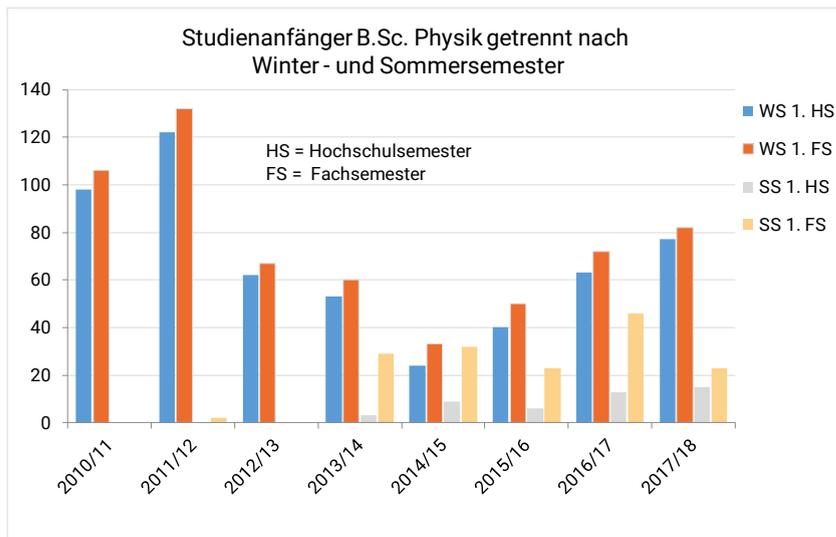
In den letzten Jahren konnte so erfreulicherweise wieder eine stetige Zunahme der Anfängerzahlen im B.Sc. Physik festgestellt werden,

die aus unserer Sicht aber durchaus noch Steigerungsmöglichkeiten beinhaltet. Die Zahl der Sommerimmatrikulierten ist immer noch auf einem unbefriedigenden Niveau, zumal die Zahl der real Studierenden dann noch einmal deutlich tiefer liegt (Parkstudenten-Problematik).

Möglicherweise auch auf die Outreach-Aktivitäten insbesondere durch das Schülerlabor zurückzuführen, ist die Zunahme der Anfängerzahlen für das Fach Lehramt Physik, so dass in Zukunft wieder Zahlen wie in den Jahrgängen 2010/11 realistisch erreichbar scheinen.

Die Anfängerzahlen im Bereich B.Sc. Werkstoffwissenschaften haben sich ebenfalls stabilisiert, allerdings auf einem für die Fakultät noch nicht befriedigenden Niveau.



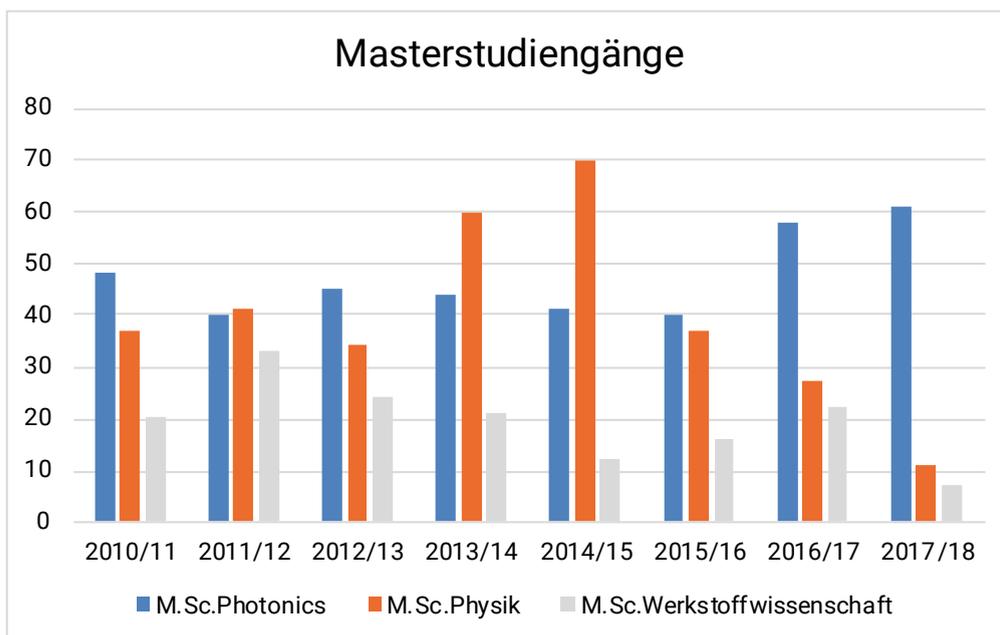


Weiterführende Studiengänge

Die Anfängerzahlen in den konsekutiven B. Sc. Studiengängen spiegeln sich naturgemäß mit einem Zeitversatz in die Masterstudiengängen wieder. Diese Entwicklung ist leider sehr gut an den Anfängerzahlen 2017/18 belegbar. Hier wird die negative Entwicklung in den Jahren 2014/15 voll wirksam. Erschwerend kommt hinzu, dass eine Anzahl von Bachelorstudierenden die Fakultät nach dem Abschluss verlassen haben. Es ist uns noch nicht gelungen, diese Abnahme durch Zugewinn von Bachelorstudenten aus anderen Hochschulen zu kompensieren. Dem wird in den nächsten Jahren durchaus größere Aufmerksamkeit zu widmen sein - die Möglichkeiten in den vier Forschungsschwerpunkten

der Fakultät müssen für Studierende anderer Hochschulen noch attraktiver gemacht werden. Eine Maßnahme im Bereich der theoretischen Physik ist sicher die überregionale Frühjahrschule, welche seit 2013 stattfindet.

Demgegenüber ist die stetig steigende Zunahme der Studierendenzahlen im M. Sc. Photonics hervorzuheben. Hier ist es in den letzten Jahren nicht nur gelungen, die Zahlen dieses internationalen Studienganges zu stabilisieren, sondern durch Ausweitung der Kapazitäten in den Praktika diese kontinuierlich zu steigern.



Abbe School of Photonics(ASP)

Die Abbe School of Photonics stellt sich vor:

- Ausbildungsschwerpunkt des Abbe Centers of Photonics
- Umfassendes akademisches, interdisziplinäres Bildungsprogramm auf Master- und Promotions-ebene mit besonderem Fokus auf Optik und Photonik
- Institutsübergreifender und interfakultärer Charakter durch Einbindung von Lehrkräften aus den Fakultäten für Chemie und Geowissenschaften, Biologie und Medizin in das Curriculum
- Internationalisierte Masterstudiengänge Photonics und Medical Photonics
- Strukturiertes Promotionsprogramm für Optik und Photonik

Abbe School of Photonics

Die Abbe School of Photonics (ASP) bildet den Ausbildungsschwerpunkt des Abbe Centers of Photonics ab. Zusammengefasst bietet die ASP ein umfassendes akademisches, interdisziplinäres Bildungsprogramm auf Master- und Promotionsebene mit besonderem Fokus auf Optik und Photonik und mit internationaler Sichtbarkeit. Obwohl die ASP tief in der PAF verwurzelt ist, hat sie zusätzlich einen institutionsübergreifenden und interfakultären Charakter, indem sie Lehrkräfte aus den Fakultäten für Chemie und Geowissenschaften, Biologie und Medizin mit in ihr Curriculum einbindet. Die Prozesse innerhalb der ASP, die nicht dem Rat der Fakultät obliegen, werden durch einen Sprecherrat gesteuert. Der Sprecherrat wird dabei in seiner Arbeit durch die Geschäftsstelle des ACP sowie insbesondere durch die beiden Koordina-

torinnen des Master- und Doktorandenprogramms der ASP, unterstützt.

Das ASP-Bildungsangebot gliedert sich in internationalisierte Masterstudiengänge sowie ein strukturiertes Doktorandenprogramm. Das Kernstück ist der internationale Masterstudiengang M.Sc. Photonics, der seit 2008 aus einer mehrjährigen öffentlich-privaten Partnerschaft aus Bund und deutscher Photonikindustrie sowie der Einwerbung europäischer, transnationaler Studienprogramme hervorgegangen ist.

Ebenso ist der Masterstudiengang Physik mit Vertiefungsschwerpunkt Optik nach wie vor das Rückgrat des Optik- und Photonik-Lehrplans der Fakultät. Er soll gemäß einem Beschluss des Fakultätsrats in den nächsten Jahren einem kohärenten Internationalisierungsprozess nach dem Vorbild des M.Sc. Photonics unterzogen werden.

Im Herbst 2016 startete unter Federführung des Zentrums für Medizinische Optik und Photonik (CeMOP) der neue Masterstudiengang Medical Photonics, dessen Strukturen und Prozesse speziell bei der internationalen Rekrutierung der Bewerber eng an die Erfahrungen der ASP angelehnt sind.

Schlussendlich bietet das strukturierte Promotionsprogramm der ASP seinen Promovierenden herausragende Forschungsmöglichkeiten in einem multidisziplinären Umfeld und stellt auch eine Dachorganisation für alle aktiven Doktoranden und Postdocs in der Forschungsumgebung Optik und Photonik der Universität dar.



Abb. 1: M.Sc. Photonics Absolventen beim Alumni-Tag der Fakultät 2017 mit feierlicher Zeugnisübergabe

Masterprogramm der ASP

Unter dem Dach ASP waren bis 2014 das Erasmus Mundus Programm "Optik in Wissenschaft und Technologie - OpSciTech", finanziert von der Europäischen Union, und das Atlantis-MILMI Programm, das vom Atlantis Programm der EU gefördert wurde, angesiedelt. Als Folge davon ist die ASP auch heute noch sehr eng mit einigen der führenden Zentren in der europäischen und amerikanischen Photonikausbildung verbunden. Viele dieser Partnerschaften haben zu langfristigen Austauschvereinbarungen geführt, die es ASP-Studierenden ermöglichen, sehr mobil zu sein. Das Masterstudium Photonics wird weiterhin durch interkulturelle Trainings, Sprach- und Blockkurse, z.B. zu guter wissenschaftlicher Praxis oder Bewerbungstraining, abgerundet.

Aktuell werden durch die ProExzellenz-Förderung des Freistaats Thüringen im Rahmen der Roadmap "ACP²⁰²⁰ – Agenda für exzellente Photonik" 12- oder 24-monatige Lebenshaltungsstipendien für diejenigen internationalen Bewerber im Masterprogramm vergeben, deren bisherige akademische Vorleistungen besonders exzellente Studienleistungen in Jena erwarten lassen. Dieses Instrument der Exzellenzbewerberakquise ist enorm wichtig, um eine große Anzahl internationaler Studierender auf die Bildungsmöglichkeiten in der ASP und in Jena aufmerksam zu machen und einen quantitativ hochqualitativen Bewerber-Pool zu generieren. Seit 2016 werden zusätzliche Stipendien vom Changchun Institut für Optik, Feinmechanik und Physik (CIOMP) aus China für Masterstudierende der ASP ausgegeben. Eine weitere Stipendienpartnerschaft wurde mit der School of Optoelectronics Engineering der Xi'an Technological University, ebenfalls in China, mit einem geplanten Start in 2018 angelegt.

In den Jahren 2016 und 2017 haben insgesamt 62 M.Sc. Photonics-Studierende ihr Studium erfolgreich abgeschlossen. Im Oktober 2016 und 2017 wurden jeweils 61 Studierende aus der ganzen Welt neu immatrikuliert. Der M.Sc. Photonics ist damit schon seit einigen Jahren und mit einigem Abstand der zahlenstärkste Masterstudiengang der Physikalisch-Astronomischen Fakultät! Unter den neu eingeschriebenen Studierenden erhielten acht ein volles 2-Jahres-Stipendium und weitere 21 ein 1-Jahres-Stipendium mit der Aussicht, ihre Lebenshaltungskosten im zweiten Studienjahr selbst zu decken. Elf Studierende kamen mit finanzieller Unterstützung vom CIOMP und ein Student mit einem DAAD-Stipen-

dium. Um hervorragende Studienleistungen zu honorieren, wurden 2016 und 2017 zudem je zwei 12-monatige Deutschlandstipendien der Bundesregierung und mit Unterstützung von Industriepartnern an je zwei herausragende Studierende im 3. Semester des M.Sc. Photonics vergeben.

Rund je 30 der neuen Studierenden der Jahrgänge 2016 bzw. 2017 nutzten die Gelegenheit, einen Monat vor Beginn des Semesters nach Jena zu kommen und vorbereitend einen Deutsch-Intensivsprachkurs zu besuchen. Diese Kurse werden vom Sprachenzentrum der Universität angeboten. Die langjährige Erfahrung hat gezeigt, dass diese Kurse für internationale Neankömmlinge eine hervorragende Möglichkeit sind, vor der eigentlichen Aufnahme des Hochschulstudiums die deutsche Sprache und die Stadt Jena in entspannter Atmosphäre kennenzulernen. Gleich danach wurden im Oktober die ASP-Welcome Days und die Studierendeneinführungstage gemeinsam von ASP und dem Fachschaftsrat der Fakultät organisiert (Abb. 2).

Ein besonderes Merkmal des Masterstudiums der ASP ist die enge Einbindung von Industriepartnern in die praktische Ausbildung. Viele Studierende absolvieren ihre Praktika und Masterarbeiten in regionalen und nationalen Optikunternehmen. Regelmäßig angebotene Exkursionen zu Industriepartnern und Forschungseinrichtungen bieten die Möglichkeit, Einblicke in Forschungs- und Karriereöglichkeiten zu gewinnen. Für die steigende Anzahl von Absolventen wurde ein spezielles Bewerbungstraining eingerichtet und die Teilnahme an Jobbörsen der FSU und der Ernst-Abbe Hochschule Jena inklusive Speed-Datings mit Firmenvertretern organisiert.



Abb. 2: Wanderung der M.Sc. Photonics-Studierenden während der Willkommenstage 2017

Der Fachschaftsrat der Physikalisch-Astronomischen Fakultät

Aufgaben und Schwerpunkte:

- Hilfe, Vermittlung und Studienberatung: Durch den engen Kontakt zu Dozierenden und anderen Gremien der Fakultät sieht sich der Fachschaftsrat als erste Anlaufstelle für Studierende, die Fragen zum Physikstudium und anderen Belangen des universitären Umfeldes haben.
- Hochschulpolitik: Als gewähltes Gremium vertritt der Fachschaftsrat die Interessen der Studierenden an der Fakultät und auch darüber hinaus.
- Evaluation der Lehre: Jedes Semester werden sämtliche Veranstaltungen der Fakultät durch den Fachschaftsrat evaluiert. Die Fragebögen werden zentral ausgewertet und dienen den Studierenden sowie der Fakultätsleitung als Qualitätsmonitoring.
- Veranstaltungen und Projekte: Der Fachschaftsrat organisiert während der Vorlesungszeit zahlreiche Veranstaltungen, darunter die Studieneinführungstage, Exkursionen, Software- Einführungskurse sowie vorlesungsbegleitende Tutorien. Darüber hinaus werden Sportturniere, Spieleabende und Partys ausgerichtet

Wirken an der Fakultät– Neue Arbeitsmöglichkeiten und stärkere Lehre

Ein großes Anliegen des Fachschaftsrates (FSR) ist es, das Physikstudium so unkompliziert wie möglich zu gestalten. In diesem Sinne wurden mehrere Projekte umgesetzt, mit dem Ziel verbesserte Arbeitsbedingungen an der Fakultät zu schaffen. So wurde die Einrichtung eines zweiten Aufenthaltsraumes für Studierende am Physik-Campus realisiert, welcher nach längerer Renovierung durch Mitglieder des FSR schließlich im Januar 2016 bezogen werden konnte. Der Raum ist mit mehreren Tafeln und Arbeitsplätzen ausgestattet und dient insbesondere Studierenden aus den jüngeren Semestern als Treffpunkt zum gemeinsamen Lernen oder Bearbeiten von

Übungsserien.

Darüber hinaus haben Studierende und Dozenten seit April 2016 die Möglichkeit, das Studium an warmen Sommertagen nach draußen zu verlegen. Eigens dafür ließ der FSR eine Tafel „unter freiem Himmel“ auf dem Gelände der Physikalisch-Astronomischen Fakultät installieren.

Auch bezüglich einer inhaltlich-strukturellen Weiterentwicklung des Physikstudiums in Jena hat sich der FSR engagiert. Der aktualisierte Regelstudienplan für Studierende, welche das Studium im Sommersemester beginnen, wurde maßgeblich durch den FSR mitgestaltet. Ebenso wurde die Überarbeitung der Modulkataloge für den Bachelor Physik sowie den Bachelor Werkstoffwissenschaften durch den FSR vorangetrieben.

Anknüpfend an die Bemühungen der vorherigen Jahre wurde schließlich auch das Bestreben weiterverfolgt, die Vernetzung zwischen Studierenden und Dozenten zu fördern. Daher wurde die Tradition des „Studenten-Professoren-Treffens“ fortgesetzt, welches einmal pro Semester stattfindet und abwechselnd vom Dekanat oder dem FSR organisiert wird. Bei geselliger Atmosphäre haben Studierende hier die Möglichkeit, mit Professoren und Professorinnen sowie deren Arbeitsgruppen ins Gespräch zu kommen – und umgekehrt.



Abb. 1. Feierliche Eröffnung der Freitafel durch den Dekan Prof. Paulus und den Vorsitzenden des FSR Michel Pannier (v.l.n.r.) im April 2016.

Veranstaltungen für die Fachschaft

In den vergangenen Jahren fanden mehrere Exkursionen durch den FSR statt. Ziel dieser Exkursionen ist es, einerseits spannende Einblicke in moderne physikalische Forschung zu geben, andererseits das Berufsbild von Physikern in der Industrie zu beleuchten.

Am 17. und 18. Mai 2016 reisten ca. 40 Studierende nach Hamburg, wo u.a. das DESY besucht wurde. Auch an der TU Braunschweig gab es mehrere Führungen durch die ortsansässigen physikalischen Institute. 2017 wurde eine kleinere Exkursion mit 21 Teilnehmern zum Betrieb Jena-Optronik ausgerichtet; später folgte eine zweitägige Exkursion nach Berlin, die u.a. das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt sowie die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung zum Ziel hatte.

Um einen leichteren Einstieg in die wissenschaftliche Praxis zu ermöglichen, fanden zu Beginn der Wintersemester 2016/17 und 2017/18 Einführungskurse in die Textsatzsoftware LaTeX, sowohl in deutscher als auch englischer Sprache, statt. Die Kurse richteten sich besonders (aber nicht



Abb. 2. Begeisterte Teilnehmer der regionalen Exkursion zu Jena-Optronik im Mai 2017.

ausschließlich) an Studierende, welche im Rahmen von Pflichtpraktika erstmals Versuchsprotokolle am Computer erstellen müssen. Ebenso fanden parallel Einführungskurse in die Programmiersprache Python statt, mit Schwerpunkt auf wissenschaftlichem Arbeiten und Datenanalyse.

Der Fachschaftsrat stellt sich vor

Die Mitglieder des Fachschaftsrates werden von der Fachschaft der Physikalisch- Astronomischen Fakultät zu jedem Wintersemester neu gewählt.

Ab WiSe 2015:

Michel Pannier
Silvia Kunz
Marie Zeidler
Sebastian Ulbricht
Katharina Wölfl
Eric Abraham
Elisabeth Golbing
Annika Gambke
Eduard Betko
Fabian Ritschel
Samuel Ritzkowski
Richard Wiedenhöft
Gloria Kirste
Maximilian Keller
Michael Förster

Ab WiSe 2016:

Katharina Wölfl
Nico Fischer
Toni Bauer
Luise Lukas
Samuel Ritzkowski
Fabian Ritschel
Gloria Kirste
Lucas Eisenbach
Eric Abraham
Maximilian Keller
Franz Roeder
Esther Menz
Julia Baldauf
Philipp Kellner
Markus Walther

Ab WiSe 2017:

Katharina Wölfl
Nico Fischer
Gloria Kirste
Lena Penno
Michéle Scholl
Lucas Eisenbach
Maximilian Keller
Johann Möbius
Michael Dimler
Esther Menz
Fransiska Widiasari
Samuel Ritzkowski
Markus Walther
Max Benner

Der Alumni der Physikalisch-Astronomischen Fakultät e.V.

Aufgaben und Schwerpunkte:

- Networking mit ehemaligen Studierenden, Mitgliedern, Freunden und Förderern der Fakultät
- Ideelle und finanzielle Unterstützung der Fakultät in Ausbildung, Wissenschaft und Forschung
- Förderung der Verbindung zwischen Theorie und Praxis

Wirken an der Fakultät

Der Zweck des Alumni-Vereins ist darauf gerichtet, die Verbindung der ehemaligen Mitglieder der Fakultät untereinander, zur Fakultät und zu den gegenwärtigen Mitgliedern aufrechtzuerhalten und zu vertiefen. Die Herstellung von Kontakten unserer Studierenden zu Absolventen aus der Arbeitswelt soll das Berufsbild verbessern, Besuche am Arbeitsort in Industrie, Forschungslaboratorien und Instituten ermöglichen und vielleicht auch Türen für einen späteren Arbeitsplatz öffnen. Mit den Aktivitäten des Vereins sollen andererseits die Informationen für die Alumni über neue Forschungsrichtungen und Schwerpunkte der Fakultät verbessert werden, um damit eine Zusammenarbeit in Projekten und die Vermittlung von Absolventen zu ermöglichen.

Wesentliche Aktivitäten des Alumni-Vereins sind daher:

- Organisatorische Unterstützung der **Absolventen-Befragung** im Rahmen der Systemakkreditierung
- Finanzielle und organisatorische Unterstützung von **Exkursionen** der Studierenden (siehe Fachschaftsrat)

- Jährliche Veranstaltung einer **Job-Börse** speziell für die Studierenden und Promovierenden unserer Fakultät. Diese Form der Veranstaltung stellt eine nützliche Alternative zu anderen „Großveranstaltungen“ dar und wird sowohl von den sieben bis zehn teilnehmenden Firmen als auch den Studierenden und Promovierenden gut angenommen. (Abb. 2)
- Organisation und finanzielle Absicherung des jährlichen **Alumni-Tages mit Feierlicher Zeugnisübergabe**. Zur im Juni stattfindenden Festveranstaltung wird die Festrede traditionell von einem Alumnus/einer Alumna der Fakultät gehalten. Am 9. Juni 2017 war dies Prof. Dr. Wolfgang Rudolph von der University of New Mexico in Albuquerque. Außerdem werden neben den Master-Zeugnissen und Promotionsurkunden noch von verschiedenen Sponsoren gestiftete Preise für die besten Abschlussarbeiten unter Anwesenheit der Preisstifter verliehen. (siehe S. 148 ff.)



Abb. 1. Die Absolventen des Studienjahres 2016/17 mit Studiendekan Prof. Schmidl (2.v.r.) und Dekan Prof. Wipf (vorn rechts) Foto: JanBernert Photography



Abb. 2. Die vom Alumni-Verein organisierte 11. Jobbörse am 25. April 2017 Foto: Angela Unkroth



Der Alumni-Verein hat zahlreiche Aktivitäten des Fachschaftsrates und der Fakultät zur **Verbesserung der Lehre und zur Gewinnung von Studierenden** finanziell unterstützt. Dazu gehören:

- Pausenversorgung für den Auffrischkurs Mathematik
- Unterstützung der Lehrevaluation
- Klausurvorbereitungswochenende
- Studenten-Professoren-Treffen zum regen Austausch
- Tag der Physik
- Ferienworkshop „Physik für Schülerinnen“
- Öffentliche Samstagsvorlesungen
- Physik-Frühstück der Jungen DPG

Ein wichtiges Anliegen des Alumni-Vereins ist auch die **Verbesserung des Studenumfeldes**. So wurden die Kreativfläche durch eine Freiluft-Tafel komplettiert und am denkmalgeschützten Abbeanum die Blumenkübel nach historischem Vorbild wiedererrichtet. Derzeit setzt sich der Verein mit einer breit angelegten Spendenaktion für die Modernisierung der Fahrradständer am Max-Wien-Platz ein.

Zur besseren Identitätsstiftung und Bindung der Absolventen an die Fakultät befasst sich der Alumni-Verein auch mit der **Geschichte der Fakultät**. Neben der Herausgabe und dem Vertrieb von Schriften zur Geschichte der Fakultät und der Stiftung von Professoren-Tafeln hat der Verein mit der Errichtung einer Gedenk-Stele anlässlich des 60.



Abb. 3. Feierliche Einweihung einer Gedenk-Stele für den systemkritischen Physikerball 1956 aus Anlass des 60. Jahrestages im Beisein einiger damaliger Akteure

Foto: JanBernert Photography

Jahrestages dem Physikerball 1956 gedacht. Der Physikerball 1956 ist durch seine systemkritischen Kabarett-Szenen (Bruch mit dem Stalin-Kult, Aufstand in Ungarn) über die Jenaer Universität hinaus bekannt geworden und hat zur Verhaftung einiger Physikerball-Akteure geführt.

Die Tradition der Physikerbälle wird von den Studierenden fortgeführt und auch vom Alumni-Verein sowohl ideell als auch finanziell unterstützt.

Der Alumni-Verein der PAF stellt sich vor

Der Alumni der Physikalisch-Astronomischen Fakultät der Friedrich – Schiller-Universität Jena e.V. ist ein gemeinnütziger Verein, der am 27. Mai 2004 gegründet wurde.

Es wird kein Mitgliedsbeitrag erhoben. Die Aktivitäten des Vereins werden ausschließlich über Spenden, Sponsoring sowie den wirtschaftlichen Eigenbetrieb (Ausstellergebühren bei Jobbörse, Verkauf von Büchern) finanziert.

Zum Jahresende 2017 hatte der Verein 268 Mitglieder.

Dem **Vorstand des Alumni-Vereins** gehören an:

Dr. Peter Weber	Vorsitzender
Prof. Dr. Paul Seidel	stellvertretender Vorsitzender
PD Dr. Wolfgang Fried	2. stellvertretender Vorsitzender
Dr. Angela Unkroth	Schatzmeisterin
Dr. Konrad Schöbel	
Dr. Christian Königsdörffer	

WIRTSCHAFT UND KOOPERATIONEN

Die Fakultät und ihre Partner

Die Physikalisch-Astronomische Fakultät ist national wie international sehr gut vernetzt. So bestehen auf Instituts- und Projektebenen zahlreiche Kooperationen mit deutschen und ausländischen Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen. Gleiches gilt auch für die lokale und regionale Zusammenarbeit: Es besteht ein enges Netzwerk mit Forschungseinrichtungen in und um Jena, deren Direktoren und Abteilungsleiter oft gleichzeitig eine Professur an der PAF innehaben und dadurch Forschung und Lehre auf allen Ebenen verstärken. Hervorzuheben sind hier das Helmholtz Institut Jena (mit dem Direktor Prof. Thomas Stöhlker und den Professoren Stephan Fritzsche und Matt Zepf), das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (Direktor: Prof. Andreas Tünnermann, Gruppenleiter apl. Prof. Uwe Zeitner), das Leibniz-Institut für Photonische Technologien (Abteilungsleiter: Prof. Heidemarie Schmidt, Prof. Markus Schmidt, Prof. Tomáš Čížmár) und die Thüringer Landessternwarte in Tautenburg (Direktor: Prof. Artie Hatzes). In Zukunft wird dazu auch das Deutsche Optische Museum zählen, dessen Direktor ebenfalls eine Professur an der PAF innehaben wird. Das entsprechende Berufungsverfahren steht kurz vor dem Abschluss.

Innerhalb der Universität bestehen ebenfalls enge Kooperationen, insbesondere mit der Chemisch-Geowissenschaftlichen Fakultät, der Medizinischen Fakultät und der Fakultät für Mathematik und Informatik insbesondere im Rahmen von Zentren und Graduiertenschulen.

Der Jenaer Tradition seit den Zeiten von Ernst Abbe und Carl Zeiss folgend, sind die wichtigsten lokalen Industriepartner die Carl Zeiss AG, die JENOPTIK AG sowie zahlreiche kleinere Firmen auf dem Gebiet der Optik. Diese fruchtbare, enge Zusammenarbeit zwischen universitärer naturwissenschaftlicher Forschung und industrieller Produktion auf hohem technologischen Niveau, gepaart mit einer sehr erfolgreichen und international sichtbaren Grundlagenforschung, ist bis heute das Markenzeichen des Wissenschaftsstandortes Jena.

Die nachfolgende Auflistung enthält eine

Auswahl an wichtigen Kooperationspartnern der einzelnen Arbeitsgruppen.

Astrophysikalisches Institut und Universitätssternwarte

- Ludwig-Maximilians-Universität München
- University of Toronto (Kanada)
- University of California Merced (USA)
- Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam
- Universidad de Valparaiso (Chile)
- University of Taiwan
- Universität Torun (Polen)
- Harvard University (USA)
- Universität Kiel
- Universität Hamburg
- Technische Universität Braunschweig
- University of Arizona (USA)
- Cambridge University (UK)
- Universidad de Madrid (Spanien)
- Universität Köln
- Universität Rostock
- Universität Tübingen

Institut für Angewandte Physik

Lehrstuhl für Angewandte Physik

(Prof. Tünnermann)

- Peter Herman, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto, Toronto, Canada
- Réal Vallée, Centre d'optique, photonique et laser (COPL), Université Laval, Québec, Canada
- Kathleen und Martin Richardson, College of Optics and Photonics, CREOL & FPCE, University of Central Florida, Orlando, USA
- Wim Leemans, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley, USA
- Ursula Keller, Department of Physics, ETH Zürich, Zürich, Switzerland
- Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics Changchun, China

- Martin Roth, innoFSPEC, Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam
- Karsten Danzmann, Albert-Einstein-Institut Hannover, Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik und Leibniz Universität Hannover

Professur für Festkörperlaser (Prof. Limpert)

- Karoly Osvay, ELI-ALPS, Extreme Light Infrastructure, Szeged, Hungary
- Rodrigo Amezcua, CREOL, University of Central Florida, Orlando, USA
- Wim Leemans, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley, USA
- Olivier Uteza, LP3 - Lasers, Plasmas et Procédés Photoniques, Aix-Marseille Université, CNRS, Marseille, France
- Ursula Keller, Department of Physics, ETH Zürich, Zürich, Switzerland
- Ioachim Pupeza, Max-Planck Institut für Quantenoptik, Max-Planck Gesellschaft, Garching
- Peter Hommelhoff, Universität Erlangen
- Guoqing Chang, DESY, Hamburg, Germany
- Gerhard Paulus, Christian Spielmann, IOQ, FSU Jena

Professur für Laserphysik (Prof. Nolte)

- Réal Vallée, Martin Bernier, Centre d'optique, photonique et laser (COPL), Université Laval, Québec, Canada
- Lionel Canioni, Laboratoire Ondes et Matière d'aquitaine (LOMA), Université Bordeaux, Bordeaux, France
- Matthieu Lancry, Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay (ICMMO), Laboratoire de Physico-Chimie de L'Etat Solide (LPCES), Université de Paris Sud 11, Orsay, France
- Jeff Squier, Department of Physics, Colorado School of Mines, Golden, USA
- Frank Seiboth, Christian Roedel, National Accelerator Laboratory, SLAC, Menlo Park, USA
- Christoph Russmann, Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst, Göttingen
- Jürgen Blum, Institut für Geophysik und Extraterrestrische Physik, TU Braunschweig
- Stefan Guhl, Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, TU Bergakademie Freiberg

- Jens Bliedtner, Fachbereich SciTec, Ernst-Abbe-Hochschule Jena
- Falko Langenhorst, Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller-Universität Jena

Professur für Nanooptik (Prof. Pertsch)

- Dragomir Neshev, Nonlinear Physics Center, Australian National University, Canberra
- Sergei Turitsyn, Aston University, Birmingham, UK
- Andrey Fedyanin, Laboratory of Nanophotonics & Metamaterials, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
- Wei-Kun Chang, Optical Sciences Center, National Central University, Jhongli, Taiwan
- Igal Brener, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico (USA)
- Leo Giuseppe, Laboratory of Quantum Materials and Phenomena, University Paris Diderot, Paris, France
- Benjamin Eggleton, ARC Centre for Ultrahigh-Bandwidth Devices, University of Sydney, Sydney, Australia
- Goran Isic, Institute of Physics, University of Belgrade, Belgrade, Serbia
- Natalia Noginova, Norfolk State University, Norfolk, USA
- Oliver Benson, Humboldt-Universität Berlin
- Carsten Rockstuhl, Institut für Theoretische Festkörperphysik, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, Germany
- Martin Roth, innoFSPEC, Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam
- Roland Schiek, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg

Lehrstuhl für Theorie optischer Systeme (Prof. Gross)

- Theo Lasser, LOB, EPFL Lausanne, Schweiz
- S. Bernet, A. Jesacher, Medizinische Physik, Universität Innsbruck, Österreich
- T. Lepine, Ecole d'Optique, Université St. Etienne, St. Etienne, France
- F. Duerr, Brussels Photonics Team, Vrije Universiteit Brussel (ADOPSYS Partner), Belgien
- Antonín Mikš, Applied Optics Group, Charles University Prague, Prague, Czech Republic
- Christopher Dainty, Applied Optics, National University of Ireland, Galway, Ireland

Professur für Technische Physik (Prof. Wyrowski)

- Mikhail Loktev, AT Technologies, Veldhoven, Niederlande
- Daniel Krähmer, Carl Zeiss AG, Oberkochen
- François Goudail, CNRS, France
- Federico Canini, Datalogic, Bologna, Italy
- Paul Urbach, Optics Research Group, Delft University of Technology, The Netherlands
- Maarten van der Burgt, KLA-Tencor, Milpitas, California, USA
- Ruben Mohedano, LPI, Madrid, Spain
- Jun Ma, School of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Science & Technology (NJUST), Nanjing, China
- Stephan Malkmus, OSRAM, München
- Irina Livshits, Engineering Center OPTICA, State University of Information, Mechanics, and Optics (ITMO), St. Petersburg, Russia
- Pablo Benitez, Optical Engineering Group, Universidad Politecnico de Madrid (UPM), Spain
- Jari Turunen, Department of Physics and Mathematics, University of Eastern Finland (UEF), Joensuu, Finland
- H. Thienpont, Brussels Photonics Team, Vrije Universiteit Brussel, Brussel, Belgium

Juniorprofessur für Funktionelle Photonische Nanostrukturen (Jun.-Prof. Isabelle Staude)

- Dragomir Neshev, Nonlinear Physics Center, Australian National University, Canberra
- Igal Brener, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico (USA)

Apl. Professur für Mikro- & Nanostrukturtechnik (apl. Prof. Zeitner)

- W.M.M. Erwin Kessels, Dept. of Applied Physics, Eindhoven Univ. of Technology, Eindhoven
- Ying Liu, National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei, China
- Matti Putkonen, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo,
- Carsten Rockstuhl, KIT, Institut für theoretische Festkörperphysik, Karlsruhe
- RhySearch, Buchs, Schweiz
- Stefan Schippel, Layertec GmbH, Mellingen
- Michael Oehme, Universität Stuttgart, Institut für Halbleitertechnik (IHT), Stuttgart
- Michael Kaschke, Zilli Yu, IMS Chips, Institut für Mikroelektronik, Stuttgart
- Ann-Kristin Köllner, Universität Stuttgart, Institut für Nano- und Mikroelektronische Systeme
- Helmut Bernitzki, JENOPTIK Optical Systems GmbH, Jena
- Christian Mühlig, IPHT, Jena

Institut für Festkörperphysik

- Egbert Zojer, Graz University of Technology, Österreich
- Toshiaki Munakata, Osaka University, Japan
- Satoshi Kera, Institute of Molecular Science Okazaki, Japan
- Federico Capasso, Harvard University, USA
- Krish Bharuth-Ram, Durban University of Technology, Südafrika
- Mikhail Kats, U Wisconsin @ Madison, USA

Institut für Festkörpertheorie und –optik**Lehrstuhl für Festkörpertheorie (Prof. Botti)**

- O. Pulci, University of Rome Tor Vergata
- L. Reining, Ecole Polytechnique Palaiseau
- G. Kresse, University of Vienna
- Wolf Gero Schmidt, University of Paderborn
- European Theoretical Spectroscopy Facility
- Miguel A.L. Marques, Martin-Luther University Halle-Wittenberg
- Lara Kühl Teles, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brazil

Lehrstuhl für Festkörperoptik (Prof. Peschel)

- D. Christodoulides, CREOL, University of Central Florida, Orlando, USA
- R. Morandotti, INRS, University Montreal, Canada
- H. Price, University of Birmingham, U.K.
- I. Carusotto, University Trento, Italy
- Kurt Busch, Humboldt Universität, Berlin
- Wolfgang Peukert, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen

Institut für Optik und Quantenelektronik**Lehrstuhl für Nichtlineare Optik (Prof. Paulus)**

- Leibniz Universität Hannover
- Universität Erlangen-Nürnberg
- Military University of Technology, Warschau, Polen
- Sofia University "St. Kliment Ohridski", Sofia, Bulgarien
- GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Darmstadt
- DESY Hamburg

Lehrstuhl für Quantenelektronik

- GSI Darmstadt
- Max-Born-Institut Berlin
- TU Braunschweig
- Technische Universität Wien/Österreich
- Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
- University of California, Berkeley/USA

Lehrstuhl für Atomphysik hochgeladener Ionen

- GSI Darmstadt
- Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
- CERN (Europäische Organisation für Kernforschung) Genf/Schweiz

Lehrstuhl für Relativistische Laserphysik

- GSI Darmstadt
- DESY Hamburg
- Universität Hamburg
- Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf
- University of Austin in Texas, USA
- Imperial College London, UK
- Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
- University of Ann Arbor, Michigan, USA
- Ludwig-Maximilians Universität München
- Max-Planck-Institut für Quantenoptik
- Paul-Scherrer-Institut, Villingen, Schweiz
- University of Salamanca, Spain
- HILASE Dolní Břežany, Tschechische Republik
- Institut für Kristallzüchtung Berlin
- Lastronics GmbH Jena
- Ernst Abbe Hochschule Jena
- ICS-Industrieleistungen GmbH Roßleben
- Otto-Schott Institut für Materialforschung
- Ferdinand-Braun-Institut Berlin

AG Röntgenoptik

- GSI Darmstadt
- DESY Hamburg
- ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) Grenoble/Frankreich
- Weizmann Institute of Science Rehovot, Israel

Otto-Schott-Institut für Materialforschung**Lehrstuhl für Metallische Werkstoffe**

- TU Clausthal
- DLR German Aerospace Center
- Southeast University Nanjing, China

Lehrstuhl für Materialwissenschaft

- Bundesanstalt für Materialforschung Berlin
- Jilin University, College of Materials Science and Engineering, China
- Oak Ridge National Lab, USA

Professur für Oberflächen– und Grenzflächentechnologien (Prof. Müller)

- CSIC-ICMM, Madrid, Spanien
- Universität Würzburg, Abteilung für Funktionsmaterialien in Medizin und Zahnmedizin
- Bundesanstalt für Materialforschung Berlin

Professur für Computational Materials Science

- Universität Regensburg
- Ludwig-Maximilians Universität München

Professur für Mechanik funktioneller Materialien

- Autonomos University Madrid, Spain
- IMDEA Nanoscience Madrid, Spain
- Universität Basel, Schweiz

Theoretisch –Physikalisches Institut**Lehrstuhl für Gravitationstheorie**

- Wolfgang Tichy, Florida Atlantic University, USA
- Mark Hannam, Cardiff University, Wales, UK
- Sascha Husa, UIB, Spanien
- Sebastiano Bernuzzi, Universität Parma, Italien

Lehrstuhl für Quantentheorie (Prof. Gies)

- J. Pawłowski, T. Plehn, A. Eichhorn, Universität Heidelberg
- F. Saueressig, Nijmegen
- G. Dunne, University of Connecticut, Storrs, USA
- C. Schubert, Morelia, Mexico
- A. Maas, R. Alkofer, Universität Graz, Österreich

Lehrstuhl für Quantentheorie (Prof. Wipf)

- Manuel Asorey, Universität Zaragoza, Spanien
- Ilya Shapiro, Universität Juiz de Fora, Brasilien
- Boris Merzlikin, Staatliche Universität Tomsk, Russland
- Lorenz von Smekal, Universität Gießen

Lehrstuhl für Theorie korrelierter Quantensysteme in intensiven Feldern

- Universität Göteborg, Schweden
- Universität Gießen
- Universität Leuven, Belgien
- Universität Mainz
- Universität Sankt Petersburg, Russland,
- Michigan State University, USA

Juniorprofessur für Quantentheorie

- Daniel Grumiller, Wien, Österreich
- Matthias Kaminski, Alabama, USA
- Max Riegler, Brüssel, Belgien

Dozentur für Relativistische Astrophysik

- Piotr Chrusciel, Universität Wien, Österreich

Forschungsmarketing und Forschungstransfer

Erteilte und angemeldete Patente

Patentanmeldungen 2016

C. Stihler, C. Jauregui, J. Limpert, H.-J. Otto, A. Tünnermann

Active Stabilization of Mode Instabilities (16F58500)

J. Popp, M. Schmitt, T. Meyer, S. Nolte, R. Ackermann, J. Limpert

CARS-geführte fs-Laserablation von Gewebe für mikrochirurgische Operationen (IPHT 01/2016)

M. Müller, M. Kienel, A. Klenke, A. Tünnermann, J. Limpert

Lasersystem mit Überlagerung von zeitlich oder räumlich separaten Laserpulsen (15F57758)

M. Müller, M. Kienel, A. Klenke, A. Tünnermann, J. Limpert

Methode zur temporalen Kombination von Laserimpulsen (15F57799)

H.-J. Otto, A. Klenke, A. Tünnermann, J. Limpert
Optische Anordnung mit Strahlaufteilung (EP 3103167A1)

M. Schürmann, S. Schwinde, N. Kaiser

Optisches Element mit einer reflektierenden Beschichtung (14F55382)

U.-D. Zeitner, T. Weichelt, Y. Bourgin

Beleuchtungseinrichtung und Vorrichtung zur lithografischen Belichtung (15F57464)

M. Beier, J. Hartung, C. Damm, S. Risse, B. Salzer

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung eines optischen Bauteils mit mindestens drei monolithisch angeordneten optischen Funktionsflächen und optisches Bauteil (15F57729)

U. Schulz, A. Szeghalmi, L. Ghazaryan, E.-B. Kley

Verfahren zur Herstellung einer niedrigbrechenden Schicht und Schichtsysteme zur Entspiegelung (15F57797)

U. Schulz, A. Szeghalmi, L. Ghazaryan, E.-B. Kley

Verfahren zur Herstellung einer porösen Gradientenschicht (15F57800)

H.-C. Eckstein, U.D. Zeitner, B. Höfer, W. Eckstein

Optische Anordnung für einen Scheinwerfer und Scheinwerfer mit der optischen Anordnung (16F58251)

C. Vetter, A. Szameit, H. Gross, Herbert,

R. Steinkopf, S. Nolte, M. Ornigotti

Ring-Linsen-System zur Erzeugung von Bessel-Strahlen und Bessel-Strahl-Superpositionen (16F58319)

T. Gottschall, A. Tünnermann, J. Limpert

Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung von Laserpulsen (16F58026)

C. Reinlein, A. Kamm, N. Lange, M. Mohaupt, C. Damm

Vorrichtung zur Deformation eines optischen Elements und optisches Element mit der Vorrichtung (16F58093)

L. Ghazaryan, A. Szeghalmi, E.-B. Kley

Verfahren zur Herstellung optisch wirksamer Elemente (14F55814)

M. Goy, C. Reinlein, N. Leonhard, M. Appelfelder

Verfahren zur Formgebung und /oder Formkorrektur mindestens eines optischen Elements (WO 2016 170043 A1)

T. Gottschall, M. Baumgartl, A. Tünnermann, J. Limpert

Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung von kurzen Strahlungspulsen (EP 3063590A1)

J. Hein

Optische Beugungsanordnung großer Apertur (DE 102008057593)

J. Körner, J. Hein

Vorrichtung zur Kühlung optischer Elemente (DE 102015001673)

Patentanmeldungen 2017

M. Müller, M. Kienel, A. Klenke, A. Tünnermann, J. Limpert

Lasersystem mit Überlagerung von zeitlich oder räumlich separaten Laserpulsen (PCT/EP2017/058834)

T. Gottschall, A. Tünnermann, J. Limpert

Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung von Laserpulsen (PCT/EP2017/052105)

C. Reinlein, A. Kamm, N. Lange, M. Mohaupt, C. Damm

Vorrichtung zur Deformation eines optischen Elements und optisches Element mit der Vorrichtung (17158452.7)

H.-C. Eckstein, U.-D. Zeitner, B. Höfer, W. Eckstein

Optische Anordnung für einen Scheinwerfer und Scheinwerfer mit der optischen Anordnung (PCT/EP2017/057865)

C. Vetter, A. Szameit, H. Gross, R. Steinkopf, S. Nolte, M. Ornigotti

Ring-Linsen-System zur Erzeugung von Bessel-Strahlen und Bessel-Strahl-Superpositionen (PCT/EP2017/065343)

C. Stihler, C. Jauregui Misas, J. Limpert, H.-J. Otto, A. Tünnermann

Active stabilization of mode instabilities in optical waveguides (17181501.2)

C. Stihler, C. Jauregui Misas, J. Limpert, H.-J. Otto, A. Tünnermann

Active Stabilization of Mode Instabilities (15/649,754)

J.U. Thomas, F.-T. Lentjes, M. Kluge, A. Ortner, H. Gross, S. Nolte, K. Bergner

Lichteinkopplungsaufbau für Axikonsysteme (102017103381.5)

M. Steglich, D. Schmelz, M. Oehme, J. Schulze
Strahlungsdetektierendes Halbleiterbauelement (102017120499.7, 102017005096.1)

T. Gottschall, J. Limpert, A. Tünnermann, T. Meyer, J. Popp

Methode zur Erzeugung synchronisierter Impulstriple mit schnell einstellbaren Frequenzabständen (102017114660.1)

C. Stihler, C. Jauregui Misas, J. Limpert, A. Tünnermann

Vermeidung von Modeninstabilität durch Phasenkontrollen (102017116058.2, 102017121368.6)

K. Bergner, S. Nolte

Laserbearbeitung eines transparenten Werkstücks (102017120187.4, 102017121140.3)

K. Bergner, M. Gebhardt, S. Nolte

Erzeugung von Mehrfach-Laserpulsen durch Überlagerung von Laserstrahlung (102017120310.9, 102017121147.0)

Schutzrechtserteilungen 2016

L. Ghazaryan, A. Szeghalmi, E.-B. Kley

Verfahren zur Herstellung optisch wirksamer Elemente (DE 10 2015 203 307 B3)

J. Limpert, A. Tünnermann, C. Jauregui, C. Jocher

Generation of azimuthally or radially polarized radiation in optical waveguides (US 9,459,403 B2)

A. Tünnermann, J. Limpert, F. Jansen, T. Eidam, C. Jauregui, H.-J. Otto, F. Stutzki

Method and device for reducing mode instability

in an optical waveguide (US 9,235,106 B2)

C. Voigtländer, J. U. Thomas, S. Nolte, A. Tünnermann, R. Williams

Mode filter with refractive index modification (US 9,360,617B2)

S. Scheiding, S. Risse, A. Gebhardt, C. Damm, T. Peschel, R. Steinkopf

Method for producing an optical assembly having at least two optical functional surfaces, an optical device and unit for carrying out the method (US 9,296,161B2)

U. Schulz, I. Wendling, P. Munzert, N. Kaiser

Method for producing an optical element having a reflection-reducing anti-fog layer (EP 2 118 691 B1)

E. Beckert, O. Pabst

Mikropumpe (DE 10 2011 107 046 B4)

E. Beckert, C. Damm, T. Burkhardt

Mounted optical component, method for the production thereof and use of same (US 9,233,430B2)

A. Klenke, A. Tünnermann, E. Seise, J. Limpert

Optical amplifier arrangement (US 9,484,709B2)

J. Limpert, F. Röser, T. Eidam, C. Jauregui, A. Tünnermann

Single-mode propagation in microstructured optical fibers (US 9,448,359B2)

Schutzrechtserteilungen 2017

C. Reinlein, E. Beckert, T. Peschel

Adaptiver Spiegel und Verfahren zu dessen Herstellung (EP 2257844B1)

J. Limpert, F. Röser, T. Eidam, C. Jauregui, A. Tünnermann

Einzelmodenpropagation in mikrostrukturierten optischen Fasern (EP 2406674B1)

C. Rothhardt, G. Kalkowski, M. Rohde, R. Eberhardt

Method for joining substrates (US 9,815,262 B2)

S. Nolte, G. Matthäus, K. Bergner

Verfahren und System zum Bearbeiten eines Objekts mit einem Laserstrahl (DE 10 2013 204 222 B4)

M. Beier, J. Hartung, C. Damm, S. Risse, B. Satzger

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung eines optischen Bauteils mit mindestens drei monolithisch angeordneten optischen Funktionsflächen und optisches Bauteil (DE 10 2015 120 853 B3)

Messebeteiligungen

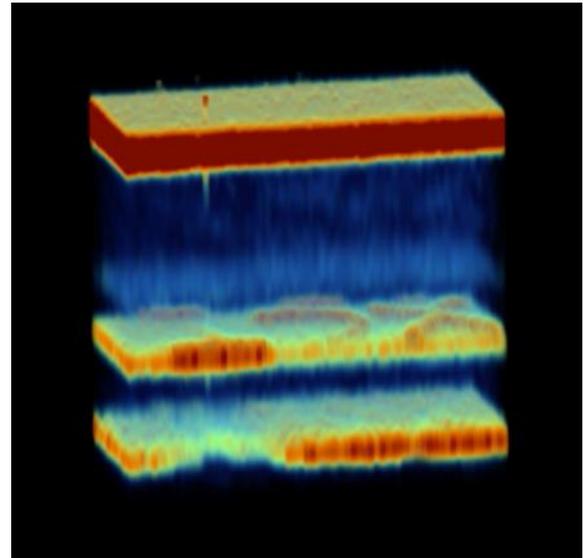
Analytica 2016, 09.05. –13.05.2016 in München
Messestand „Forschung für die Zukunft–
Nanometer Kohärenztomografie“, Martin Wün-
sche (IOQ)

Schülermesse „Traumberuf IT & Technik“ 2016,
01.07.2016, München, Jun.-Prof. Adrian Pfeiffer
(IOQ)

Schülermesse „Traumberuf IT & Technik“ 2017,
04.07.2017, München, Jun.-Prof. Martin Ammon,
Michel Pannier (TPI)

Laser-Messe, 25.06. –29.06.2017, München
Messestand „Forschen für die Zukunft–XUV Ko-
härenztomografie“, Dr. Christian Rödel, Martin
Wünsche (IOQ)

Messestand „Forschen für die Zukunft–Kryogen
gekühlter High-Power-Laserkopf“, Dr. Jörg Kör-
ner, Dr. Joachim Hein, Jürgen Reiter (IOQ)



Die neu entwickelte Methode der Kohärenztomografie wurde auf verschiedenen Messen der Öffentlichkeit vorgestellt.



Jun.-Prof. Martin Ammon und der Doktorand Michel Pannier bei der Beratung von Schülerinnen auf der Schülermesse „Traumberuf IT & Technik“ am 04.07.2017 in München
Foto: Claudia Hilbert (Chemisch-Geowissenschaftliche Fakultät)

INTERNATIONALES

Gastwissenschaftler

Das bereits traditionelle Gastprofessorenprogramm des Abbe Centers of Photonics wurde fortgeführt. Es dient der Einbindung von internationalen Wissenschaftlern in die Forschungs- und Ausbildungsprogramme des ACP und darüber hinaus dem internationalen wissenschaftlichen Austausch zur Initiierung und Vertiefung gemeinsamer Kooperationsprojekte. In den Jahren 2016/17 wurden sechs Gastprofessoren ausgewählt und nach Jena eingeladen, die im Rahmen von wissenschaftlichen Vorträgen und Vorlesungen über folgende Themen referierten (Abbildung 1):

Prof. Dr. Laura Marcu (Department of Biomedical Engineering, University of California, Davis, USA)

- Clinical applications of fluorescence lifetime techniques: Part 1 – Oncology
- Time-resolved fluorescence spectroscopy and imaging for biomedical applications
- Clinical applications of fluorescence lifetime techniques: Part 2 – Diagnosis of atherosclerotic cardiovascular diseases
- Fluorescence lifetime techniques in regenerative medicine

Prof. Dr. Igal Brener (Sandia National Laboratories and Center for Integrated Nanotechnologies, Albuquerque, New Mexico, USA)

- Semiconductor excitations coupled to metamaterials
- Solid-state lighting and III-nitride semiconductors
- THz science and technology and THz metamaterials

Prof. Dr. Jer-Shing Huang (National Tsing Hua University, Taiwan)

- Plasmonics for engineering nanoscale light-matter-interactions
- Fabrication, resonances and PL of single-

crystalline gold nanoantennas

- Plasmonic optical nanocircuits

Prof. Dr. Chris Poulton (University of Technology Sydney, Australien)

- Good vibrations: Optomechanics and Stimulated Brillouin Scattering in modern nanophotonics
- Stimulated Brillouin Scattering in integrated optical waveguides: theory and fundamentals
- Basics of elasticity for optical physicists
- Basics of optical forces and optomechanics
- Basics of cavity optomechanics and Stimulated Brillouin Scattering

Prof. Dr. Igor Lednev (State University of New York at Albany, USA)

- Overview of main research projects in Lednev laboratory: vibrational spectroscopy for fundamental studies of amyloid fibrils and new method developments for forensic purposes and medical diagnostics
- Vibrational spectroscopy for forensic applications: Part 1 – detection and characterization of gunshot residue
- Vibrational spectroscopy for forensic applications: Part 2 – Identification and characterization of biological stains



Abb. 1: ACP/ASP-Gastprofessoren in den Jahren 2016 und 2017: V.l.n.r.: Laura Marcu, Igal Brener, Jer-Shing Huang, Chris Poulton, Igor Lednev und Giulio Cerullo.

- Deep UV Raman spectroscopy for structural characterization of proteins and protein aggregates
- Complementary vibrational spectroscopic methods for understanding amyloid fibril structure and polymorphism: from polarized Raman to VCD, SERS and TERS
- Raman hyperspectroscopy for medical diagnostics and forensic purposes

Prof. Dr. Giulio Cerullo (Politecnico di Milano, Italy)

- Coherent Raman spectroscopy and microscopy
- Few-cycle pulse generation by NOPAs

Nachfolgend sind weitere Gastwissenschaftler aufgeführt, die im Berichtszeitraum an der Physikalisch-Astronomischen Fakultät gearbeitet haben oder noch hier arbeiten.

Astrophysikalisches Institut und Universitätssternwarte

- Irem Aslan:** Universität Ankara, Türkei
Mark Booth: Universidad Católica Santiago, Chile
Can Güngör: Universität Istanbul, Türkei
Arnold Hanslmeier: Universität Graz, Österreich
Hisashi Hayakawa: Universität Kyoto, Japan
Stefanie Rätz: ESA ESTEC Noordwijk, Niederlande
Marcus Werner: Universität Kyoto, Japan
Arnold Benz: ETH Zürich, Schweiz
Ronny Errmann: University of Hertfordshire, GB
Rita Gautschy: Universität Basel, Schweiz
Christian Ginski: Universität Leiden, Niederlande
Achamveedu Gopakumar: Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, Indien
Mihály Horanyi: University of Colorado at Boulder, USA
Ernst Paunzen: Universität Brno, Tschechische Republik

Institut für Angewandte Physik

Lehrstuhl für Angewandte Physik
 (Prof. Tünnermann)

- Martin Richardson:** University of Central Florida, Orlando, USA
Benjamin Eggleton: University of Sydney, Sydney, Australien

Hans-A. Bachor: Australian National University, Wamboin, Australien (Emeritus)

Professur für Festkörperlaser (Prof. Limpert)

Guillaume Arpison: INP Phelma, Grenoble, Frankreich

Alina Pranovich: HiLase, Prag, Tschechische Republik

Professur für Laserphysik (Prof. Nolte)

Margaux Chanal: Aix-Marseille Université, CNRS Marseille, Frankreich

Ya Cheng: Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences Shanghai, China

Olivier Uteza: Aix-Marseille Université, CNRS Marseille, Frankreich

Wataru Watanabe: Department of Electrical & Electronic Engineering, College of Science and Engineering, Ritsumeikan University Shiga, Japan

Roberto Morandotti: Institut national de la recherche scientifique (INRS) Varennes, Kanada

Martin Richardson: University of Central Florida Orlando, USA

Giulio Cerullo: Politecnico di Milano, Italien

Professur für Nanooptik (Prof. Pertsch)

Maria del Rocio Camacho Morales: Australian National University, Canberra, Australien

Hung-Pin Chung: National Central University Jhongli Jhongli, Taiwan

Jochen Fick: Institut Néel Grenoble, Frankreich

Chunqi Jin: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics Changchun, China

Polina Kapitanova: TMO University St. Petersburg, Russland

Andrei Komars: Australian National University Canberra, Australien

Anatoly Murauski: National Academy of Science of Belarus Minsk, Weißrussland

Andrey Sukhorukov: Australian National University Canberra, Australien

Christian Teichert: Montanuniversität Leoben Leoben, Österreich

Yasmine Alikacem: Université Laval Quebec, Kanada

Jonas Berzins: Center for Physical Sciences and Technology Vilnius, Litauen

Yen-Hung Chen: National Central University, Taiwan Taoyuan, Taiwan

Martijn De Sterke: University of Sydney, Australien

Goran Isic: University of Belgrade, Serbien

Chunqi Jin: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics Changchun, China

N. Asger Mortensen: Technical University of Denmark Lyngby, Dänemark

Yoichi Ogata: Center for Advanced Photonics, RIKEN Wako, Japan

Uros Ralevic: University of Belgrade, Serbien

Kestutis Staliunas: Universitat Politècnica de Catalunya Barcelona, Spanien

Christian Wolff: University of Technology Sydney Sydney, Australien

Lehrstuhl für Theorie optischer Systeme (Prof. Gross)

Niamh Fitzgerald: National University of Ireland Galway, Ireland

Yunfeng Nie: Vrije Universiteit Brussel, Brüssel, Belgien

Professur für Technische Physik (Prof. Wyrowski)

Billel Bentouhami: University of Science and Technology Houari Boumediene Algiers, Algerien

Tingcheng Zhang: China Academy of Space Technology Beijing, China

Yubin Cao: Harbin Institute of Technology Harbin, China

Chun-Han Chou: National Taiwan University of Science and Technology Taipei, Taiwan

Marco Falcioni: University of Camerino (UNICAM) Camerino, Italy

Henri Partanen: University of Eastern Finland Joensuu, Finnland

Juniorprofessur für Funktionelle Photonische Materialien (Jun.-Prof. Isabelle Staude)

Alexander Muravsky: National Academy of Science of Belarus Minsk, Weißrussland

Institut für Festkörperphysik

Lehrstuhl für Festkörperphysik (Prof. Ronning)

K. Bhartuth-Ram: Durban University of Technology, Südafrika; von der Alexander von Humboldt Stiftung geförderte Institutspartnerschaft zum Thema „Magnetic Nanoclusters and Multiferroics“, 2016-2018

Z. Radkocevic: Universität Belgrad, Serbien; projektbezogener Personenaustausch, gefördert vom DAAD (2016-2017) zum Thema „Materials nanostructuring by ion irradiation“

Institut für Festkörpertheorie und –optik

Lehrstuhl für Festkörpertheorie (Prof. Botti)

John Peterson: Texas State University, USA

Lara Kühl Teles: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Brasilien

Marcelo Marques: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Brasilien

Liming Chen: Ecole Centrale Lyon, Frankreich

Maria A. Loi: University of Groningen, Niederlande

Alfonso San Miguel: University of Lyon 1, Frankreich

Christoph Adessi: University of Lyon, Frankreich

Razvan Caracas: Ecole Normale Supérieure Lyon, Frankreich

Alberto Castro: University of Zaragoza, Spanien

Rafael Sarmiento Pérez: University of Basel, Schweiz

Tiago F.T. Cerqueira: University of Coimbra, Portugal

Ivan Guilhon Mito Rocha: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Brasilien

Francesco Delodovici: Università degli Studi di Milano, Italien

Moemi Kawashima: University of Electro-Communications in Tokyo, Japan

Jingming Shi: Claude Bernard University Lyon 1, Frankreich

Wenwen Cui: Claude Bernard University Lyon 1, Frankreich

Olivia Pulci: University of Rome Tor Vergata, Italien

Giancarlo Cappellini: University of Cagliari, Italien

Susanne Siebentritt: University of Luxembourg, Luxemburg

Ludger Wirtz: University of Luxembourg, Luxemburg

Institut für Optik und Quantenelektronik

Lehrstuhl für Nichtlineare Optik (Prof. Paulus)

Zenghu Chang: University of Central Florida, USA

Olivier Chalus: THALES

Alexander Dreischuh: Sofia University, Sofia, Bulgarien

Carla Figueira de Morisson Faria: University College London, UK

Tomasz Fok: Military University of Technology, Warschau, Polen
Tais Gorkhover: SLAC National Accelerator Laboratory Menlo Park, USA
Karol Janulewicz: Military University of Technology, Warschau, Polen
Markus Kitzler: TU Wien, Österreich
Dejan Milosevic: University of Sarajevo, Bosnien und Herzegowina
Lukasz Wegrzynski: Military University of Technology, Warschau, Polen
Lehrstuhl für Quantenelektronik (Prof. Spielmann)
Sergei Bodrov: Institut für Angewandte Physik RAS Nizhny Novgorod, Russland
Darius Mofakhami: Pierre and Marie Curie University Paris, Frankreich
Aleksei Murzanev: Institut für Angewandte Physik RAS Nizhny Novgorod, Russland
Massimo Petrarca: Sapienza University of Rome, Italien
Pavel Polynkin: College of Optical Sciences, The University of Arizona, Tucson, USA
Lehrstuhl für Relativistische Laserphysik (Prof. Kaluza)
Mike Downer: University of Texas in Austin, USA
Constantin Haefner: LLNL, Livermore, CA, USA
Rasmus Ischebeck: Paul-Scherrer-Institut Villigen, Schweiz
Junji Kawanaka: ILE Osaka, Japan
Wim Leemans: Lawrence Berkeley National Lab, USA
Marcel Mudrich: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg/Universität Aarhus Dänemark
Jens Schwarz: Sandia Nat. Lab., Albuquerque, NM, USA
Stefan Skupin: University Bordeaux–CNRS–CEA, Frankreich
Shigeki Tokita: ILE Osaka, Japan
Laszlo Veisz: University of Umea, Schweden
Luca Volpe: CLPU – Centro de Láseres Pulsados Salamanca, Spanien
Juniorprofessur für Attosekunden-Laserphysik (Jun.-Prof. Pfeiffer)
Giulio Cerullo: Politecnico di Milano, Italien
Claudio Cirelli: ETH Zürich, Schweiz
Markus Kitzler-Zeiler: Technische Universität Wien, Österreich
André Stefanov: Universität Bern, Schweiz
AG Röntgenoptik (Prof. Förster)
Florian Coddamine: Pierre and Marie Curie University Paris, Frankreich
Yves Joly: Institut Néel CNRS Grenoble, Frank-

reich

Eyal Kroupp: Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel

Meiri Pessah: Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel

Oldrich Renner: Department of Radiation and Chemical Physics, Prag, Tschechische Republik

Frank Rosmej: Pierre and Marie Curie University Paris, Frankreich

Otto-Schott-Institut für Materialforschung

Professur für Oberflächen- und Grenzflächentechnologien

Begüm Balkan: Yildiz Technical University, Istanbul, Türkei

Abdel-Aziz Ahmed Said: Assiut University, Ägypten

Professur für Mechanik funktioneller Materialien

Arkadiusz Janas: Jagellonian University Krakow, Polen

Sara Abderezak: Université Ferhat Abbas Sétif 1, Algérie

Patricia Pedraz: IMDEA Nanoscience Madrid, Spanien

Santiago Casado: IMDEA Nanoscience Madrid, Spanien

Theoretisch –Physikalisches Institut

Juan Valiente-Kroon: University of London, England

Harald Pfeiffer: University of Toronto, Kanada

Stephan Rosswog: Stockholm University, Schweden

Alfio Bonanno: INFN Catania, Italien

Maxime Guilleux: Université Paris Diderot, Frankreich

Israel Michael Sigal: University of Toronto, Kanada

Péter Mati: Budapest University, Ungarn

Piotr Bizon: Krakow University, Polen

Martin Schaden: Rutgers University, USA

Felix Pogorzelski: Technion Haifa, Israel

Jonathan Blackman: Caltech, USA

Istvan Racz: Budapest University, Ungarn

Sanjeev Dhurandhar: IUCAA Pune, Indien

Markus Huber: Karl-Franzens Universität Graz, Österreich

Luis Melgar: Imperial College London, England

Federico Carrasco: CONICET, Ciudad Universitaria Cordoba, Argentinien
Manuel Asorey: University of Zaragoza, Spanien
Boris Merzlikin: Tomsk University, Russland
Matteo Baggioli: University of Crete, Griechenland
Max Riegler: Université libre de Bruxelles, Belgien
Babette Döbrich: Cern, Schweiz
Nina Lebedeva: St. Petersburg University, Russland
Carsten Gundlach: University of Southampton, England
Matt Choptuik: University of British Columbia, Kanada
Philippe LeFloch: Laboratoire Jacques-Louis Lions, Frankreich
Piotr Chrusciel: Universität Wien, Österreich
Katy Clough: Kings College London, England
Jean Alexandre: Kings College London, England
Edgar Gasperin-Garcia: Queen Mary University London, England
Alex Vanó-Vinuales: Cardiff University, England
Gernot Heissel: Cardiff University, England
Veronica Sanz: University of Sussex, England
Jiří Bicak: Karls-Universität Prag, Tschechien
Nehal Mittal: IIT Bombay, Indien
Mark Hannam: Cardiff University, England
Andrés Reyes Lega: Universidad de los Andes, Kolumbien
Chris Ripken: Radboud University Nijmegen, Niederlande
Sanjeev Dhurandhar: IUCAA Pune, Indien
Alexandre Efremov: Ecole Polytechnique, Frankreich
Urs Wenger: Universität Bern, Schweiz

Rajamani Narayanan: Florida International University, USA
Wolfgang Tichy: Florida Atlantic University, USA
Andrew O'Bannon: University of Southampton, England
Maximiliano Ujevic Tonino: Universidade Federal DO ABC, Brasilien
Andrey Konyaey: Moscow State University, Russland
Alexey Bolsinov: Loughborough University, England
Ilya Shapiro: Federal University of Juiz de Fora, Brasilien
Jakub Jankowski: Warsaw University, Polen
Daniel Fernandez: University of Iceland, Island
Jörg Frauendiener: University of Otago, Neuseeland
Bruno Giacomazzo: University of Trento, Italien
Claudio Gorodski: University of Sao Paulo, Brasilien
Gian Paolo Vacca: INFN Bologna, Italien
Shailesh Chandrasekharan: Duke University, USA
Simon Hands: Swansea University, England
Anna Hasenfratz: University of Colorado Boulder, USA
Igor Herbut: Simon Fraser University, Kanada
Claudio Pica: Syddansk Universitet, Dänemark
David Schaich: Universität Bern, Schweiz
Masanori Hanada, Kyoto University, Stanford University, Japan, USA
Alexei Bazavov: Michigan State University, USA
Ayan Mukhopadhyay: Universität Wien, Österreich



Besichtigung der ACP-Labore während einer Pressetour des DAAD am Abbe Center of Photonics.

Gastaufenthalte im Ausland

Institut für Angewandte Physik

Professur für Festkörperlaser (Prof. Limpert)

Christoph Stihler: Université Laval, Centre d'optique, photonique et laser (COPL), Québec City, Kanada

Professur für Laserphysik (Prof. Nolte)

Thorsten Goebel: Macquarie University, Sydney, Australien

Maximilian Heck: Université Laval, Québec, Kanada

Daniel Richter: Macquarie University, Sydney, Australien

Alexander Szameit: Massey University, Auckland, Neuseeland

Professur für Nanooptik (Prof. Pertsch)

Dennis Arslan, Matthias Falkner, Frank Setzpfand, Jan Sperrhake: University of Belgrade, Belgrade, Serbien

Justus Bohn, Sina Saravi: The University of Sydney, Sydney, Australien

Romina Diener: École polytechnique, Palaiseau, France

Matthias Falkner, Reinhard Geiß: Goran Isic Institute of Physics, Belgrade, Serbien

Reinhard Geiß: National Central University Zhongli Taiwan, Taiwan und Australian University of Sydney, Royal Melbourne Institute of Technology, Sydney, Australien

Professur für Technische Physik (Prof. Wyrowski)

Frank Wyrowski: iGuzzini, Alcona, Italien
Hans Laser, Shenzhen, China
Spectra Physics, Santa Clara, USA
Jiangsu Industrial Technology Research Institute, Nanjing, China

Nanjing University of Science & Technology (NJUST), Nanjing, China

Suzhou Institute of Biomedical Engineering and Technology (SIBET), Suzhou, China

Site Zhang: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics (CIOMP), Changchun, China

Juniorprofessur für Funktionelle Photonische Materialien (Jun.-Prof. Isabelle Staude)

Isabelle Staude: FOM Institut AMOLF, Amsterdam, Niederlande
Sandia National Laboratories, Albuquerque, USA
University of Exeter, Exeter, Großbritannien

Apl. Professur für Mikro- & Nanostrukturtechnik (apl. Prof. Zeitner)

Kay Dietrich: National synchrotron radiation Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei, China

Ernst-Bernhard Kley: University of Sydney, Macquarie University, Sydney, Australien

Kristin Pfeiffer: VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finnland

Adriana Szeghalmi: Technical University of Eindhoven, Eindhoven, Niederlande

Institut für Festkörperphysik

Lehrstuhl für Festkörperphysik (Prof. Ronning)

Carsten Ronning, Elke Wendler: Durban University of Technology, Südafrika; von der Alexander von Humboldt Stiftung geförderte Institutspartnerschaft zum Thema „Magnetic Nanoclusters and Multiferroics“, 2016-2018

Carsten Ronning: Universität Belgrad, Serbien; projektbezogener Personenaustausch, gefördert vom DAAD (2016-2017) zum Thema „Materials nanostructuring by ion irradiation“

Institut für Festkörpertheorie und -optik

Lehrstuhl für Festkörpertheorie (Prof. Botti)

Friedhelm Bechstedt: University of Rome Tor Vergata, Italien

Instituto Tecnológico de Aeronautica, Brasilien

Arstan Bisianov: International Research Training Group GRK 2101 in Montreal, Kanada

Institut für Optik und Quantenelektronik

Lehrstuhl für Relativistische Laserphysik

Jörg Körner: HiLASE Centrum Tschechien

Lehrstuhl für Quantenelektronik

Michael Züch: University of Berkeley, USA

Internationale Studierende und Promovierende

Während in den grundständigen Studiengängen Physik und Werkstoffwissenschaft der Anteil der ausländischen Studierenden im Wintersemester 2017/18 zwischen 4 % (B. Sc.) und 28% (M.Sc. Werkstoffwissenschaft) liegt, kommen im komplett englischsprachigen Studiengang M.Sc. Photonics 94 % der Studierenden aus dem Ausland. Im Oktober 2016 und 2017 wurden jeweils 61 Studierende aus der ganzen Welt in den M.Sc. Photonics neu immatrikuliert. Die Physikalisch-Astronomische Fakultät unternimmt große Anstrengungen, auch den M.Sc. Physik zu internationalisieren, bisher jedoch mit mäßigem Erfolg.

Bei den eingeschriebenen Promovierenden lag der Ausländeranteil zum Jahresende 2017 bei 27% (siehe Seite 12). 16 % der Promotionen wurden 2017 von Ausländern oder Ausländerinnen abgeschlossen und 40% der in 2016 und 2017 abgeschlossenen Habilitationen waren von Ausländern.

Abb. 1: Ausländeranteil bei den Studierenden der Studiengänge der PAF zum Wintersemester 2017/18
Quelle: HISPOS

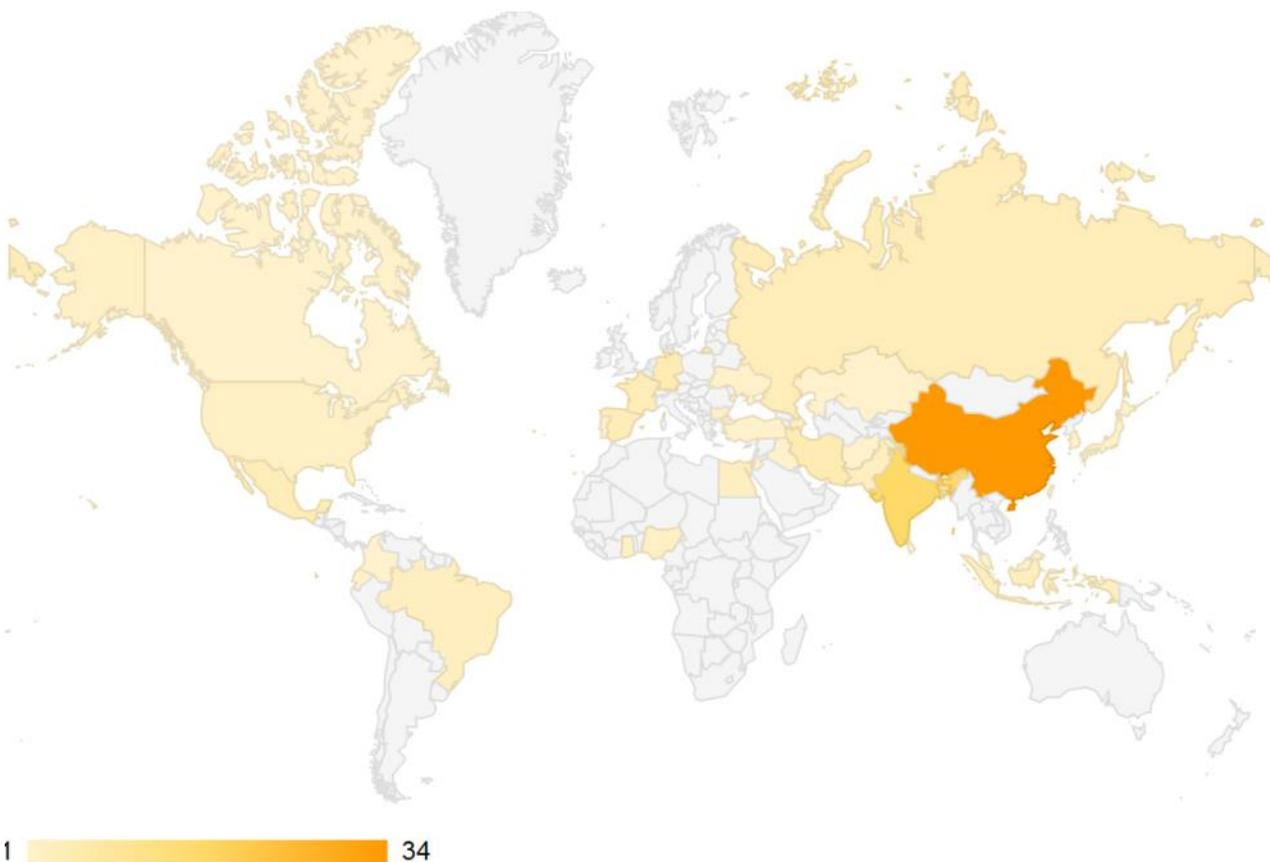
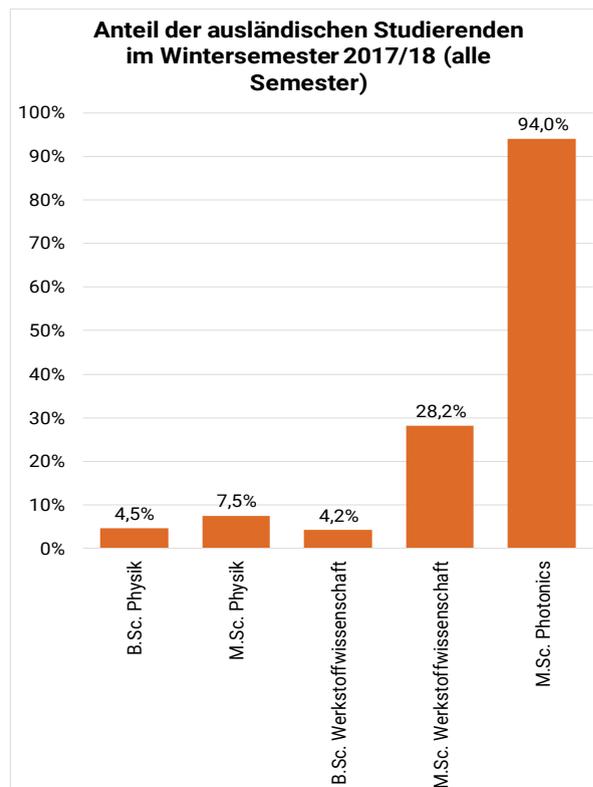


Abb.2: Herkunft der Studienanfänger im Studiengang M.Sc. Photonics im Wintersemester 2016/17

GLEICHSTELLUNG

Im Februar 2016 hat die Fakultät einen Gleichstellungsplan erstellt, der die gegenwärtige Gleichstellungssituation an der Physikalisch-Astronomischen Fakultät beschreibt und Handlungsfelder aufzeigt. Auch wenn in einzelnen Punkten wie z.B. dem Frauenanteil beim wissenschaftlichen Personal weiter Verbesserungen wünschenswert sind, zeigt sich in dieser Analyse, dass sich die PAF in Gleichstellungsfragen grundsätzlich sehr positiv entwickelt hat.

Professoren

In 2016/17 ist es gelungen, eine W3-Professorin, zwei Juniorprofessorinnen und eine außerplanmäßige Professorin neu zu berufen bzw. zu ernennen. Die PAF hat damit nunmehr zwei W3-Professorinnen, zwei Juniorprofessorinnen und zwei apl. Professorinnen, was einem Professorinnenanteil von 14,6 % entspricht. Eine weitere Berufung einer W3-Professorin für Physik und ihre Didaktik ist leider misslungen, da die Kandidatin den Ruf nicht angenommen hat. Der Frauenanteil unter den Professoren in der PAF wird sich nicht wesentlich weiter steigern lassen, da der Frauenanteil bei den Studierenden und Promovierenden auch deutlich unter dem Basiswert von 30% gemäß Ziel- und Leistungsvereinbarungen liegt.

Es bleibt zu hoffen, dass sich die Vorbildrolle dieser sechs Professorinnen langfristig auf

die Erhöhung des Frauenanteils beim wissenschaftlichen Nachwuchs und den Studierenden auswirkt.

Studierende

Der Frauenanteil unter den Studierenden lag zum Wintersemester 2017/18 je nach Studiengang zwischen 18% beim M.Sc. Physik und 31% beim M.Sc. Photonics (siehe Abb. 2). Insgesamt sind 24% unserer Studierenden weiblich.

Wissenschaftlicher Nachwuchs

Der Frauenanteil bei den Promovierenden entspricht mit 22,6% in etwa dem bei den Studierenden. Allerdings ist der Frauenanteil bei den in 2016/17 abgeschlossenen Promotionen mit 16,2% deutlich geringer (Abb. 3). Dafür wurden in 2016/17 zwei von fünf Habilitationsverfahren (entsprechend 40%) von Frauen erfolgreich abgeschlossen. Frau Privatdozentin Dr. Claudia Schnohr hat dafür sogar den Habilitationspreis der FSU erhalten (siehe S.150)

Bei den Privatdozenturen und Nachwuchsgruppenleitern ist der Frauenanteil mit 42,8% (3 Frauen von 7) ebenfalls erfreulich hoch.

Zur Förderung des weiblichen wissenschaftlichen Nachwuchses wurden im Gleichstellungsplan verschiedene Maßnahmen wie Gesprächsrunden mit Masterstudentinnen und Doktorandinnen sowie Mentoring festgelegt.



Abb.1: Im Ferien-Workshop „Physik für Schülerinnen“ hat eine der Projektgruppen sich mit der Funktionsweise einer E-Gitarre beschäftigt und eine Einseiten-E-Gitarre selbst gebaut. Foto: Dr. Walter Müller

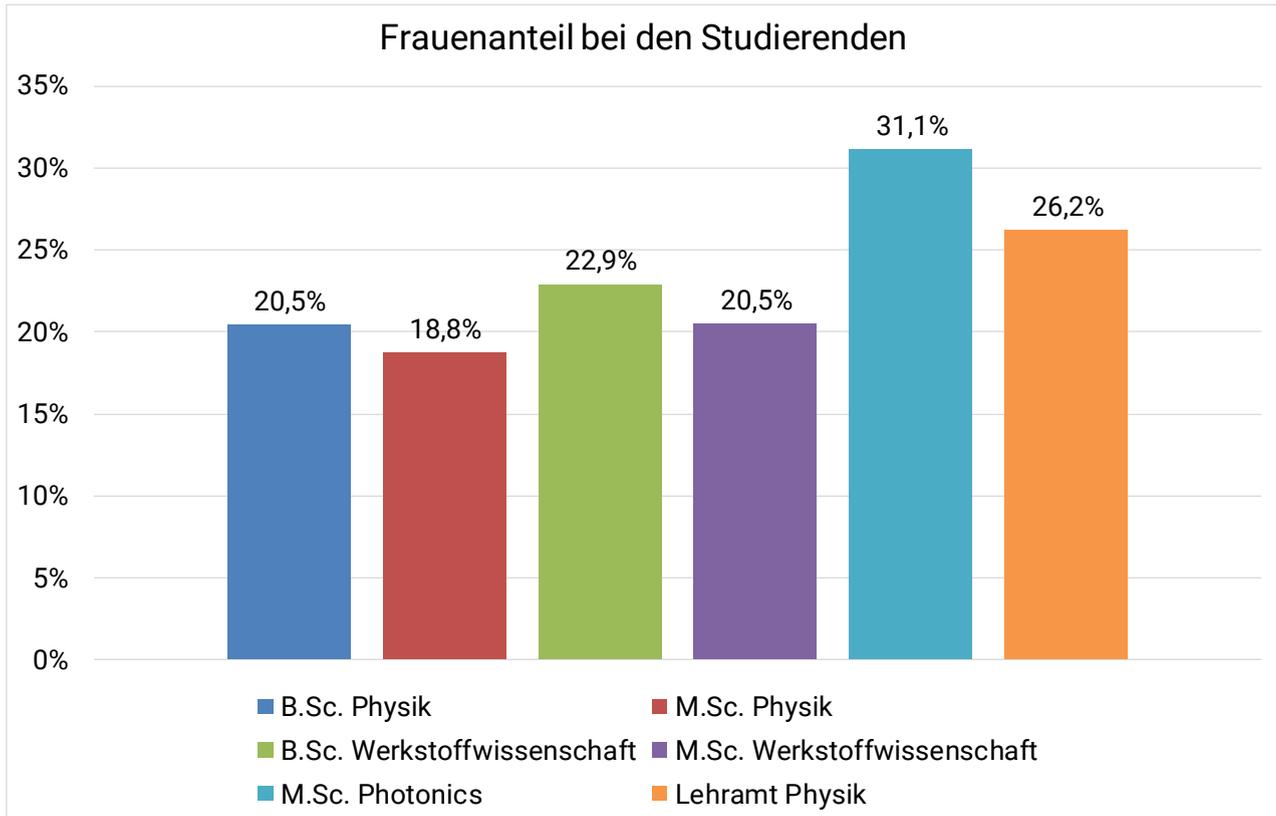


Abb.2: Frauenanteil bei den Studierenden, Datenquelle: HISPOS

Die Fakultät setzt bei der Nachwuchsgewinnung bereits in den Schulen an. So wird einmal pro Jahr der Workshop „Physik für Schülerinnen“ durchgeführt, welcher sich an Schülerinnen der Klassen 10 bis 12 wendet. (siehe Abb. 1) Die Ausschreibung erfolgt in Thüringen und den angrenzenden Bundesländern. Damit wird auch die Aufmerksamkeit der Schulen auf die Universität Jena als Ausbildungsort gelenkt.

Um Schülerinnen frühzeitig für Naturwissenschaften und Technik zu interessieren, findet am Abbe-Gymnasium Winzerla einmal wöchentlich das GirlsLab (naturwissenschaftlich-technisch orientierte Bastelnachmittage) statt. Dieses richtet sich an Schülerinnen ab Klasse 5 und erfolgt in enger Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Didaktik der Physik und Astronomie. Die Leitung des GirlsLab erfolgt durch Lehramtsstudierende, die damit frühzeitig die Möglichkeit erhalten, an einer Schule mit Schülerinnen zu arbeiten. Die Finanzierung dieser Lehrtätigkeit erfolgt durch das Gleichstellungsbüro, die nötigen Vorarbeiten (z.B. die Erstellung von Materialien) finanziert die PAF.

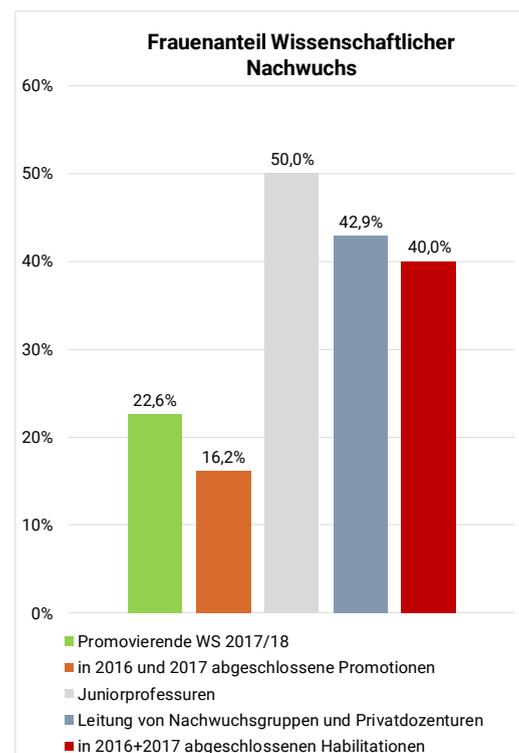


Abb. 3: Frauenanteil beim wissenschaftlichen Nachwuchs

PERSONALIA

Berufungen und Pensionierungen

Berufungen an die PAF

Apl. Prof. Dr. Katharina Schreyer, außerplanmäßige Professur für Physikalisches Experimentieren, Januar 2016

Jun.-Prof. Dr. Birgitta Bernhardt, W1 Juniorprofessur für Ultraviolette Dualkammspektroskopie (cofinanziert Carl-Zeiss-Stiftung; Neubesetzung), Februar 2017

Prof. Dr. Heidemarie Schmidt, W3-Professur für Festkörperphysik mit Schwerpunkt Quantendetektion (cofinanziert IPHT, Neubesetzung), Juni 2017

Apl. Prof. Dr. Uwe Zeitner, außerplanmäßige Professur für Experimentalphysik/ Mikro- und Nanostrukturtechnik, Juli 2017

Jun.-Prof. Dr. Isabelle Staude, W1 Juniorprofessur für Funktionelle Photonische Materialien, (cofinanziert DFG, Emmy – Noether-Programm, Neubesetzung), November 2017

Prof. Dr. Tomáš Čižmár, W3 –Professur für Wellenleiteroptik mit einem Schwerpunkt in Faseroptik (cofinanziert IPHT, Wiederbesetzung), Dezember 2017

Prof. Dr. Christian Eggeling, W3-Professur für Superresolution Microscopy (cofinanziert IPHT, Neubesetzung/Nachfolge W2 Angewandte Physik/Optik für die Ophthalmologie), Dezember 2017

W2 Gravitationstheorie (Wiederbesetzung), Rufannahme Januar 2018

W3 Geschichte der Physik mit Schwerpunkt Wissenschaftskommunikation (Direktor des Deutschen Optischen Museums) (cofinanziert Stiftung D.O.M., Neubesetzung), Ruferteilt

W2/W3 Physik und ihre Didaktik (Neubesetzung/Nachfolge Hochschuldozentur für Physik-Didaktik), laufend

W1/W2 Optik zweidimensionaler Festkörper, tenure track Juniorprofessur (cofinanziert DFG–1000-Professoren-Programm; Neubesetzung), laufend

W3 Röntgenphysik (cofinanziert Helmholtz-Institut Jena; Wiederbesetzung), ausgeschrieben

Rufannahmen nach außen

Jun.-Prof. Dr. Alexander Szameit, W3-Professur, Universität Rostock

Dr. Ronny Nawrodt, W3-Professur für Physikdidaktik, Universität Stuttgart

Verstorbene

Prof. Dr. Marcus Ansorg, W2 Gravitationstheorie, verstorben im Dezember 2016

Pensionierungen

Prof. Dr. Richard Kowarschik, C4 Experimentalphysik/Kohärenzoptik, April 2016

Apl. Prof. Dr. Karl-Heinz Lotze, Hochschuldozentur für Physik und Didaktik, September 2016, seit Oktober 2016 Seniorprofessur der Heraeus-Stiftung

Prof. Dr. Hartmut Bartelt, C4–Professur für Moderne Optik am IPHT, April 2017



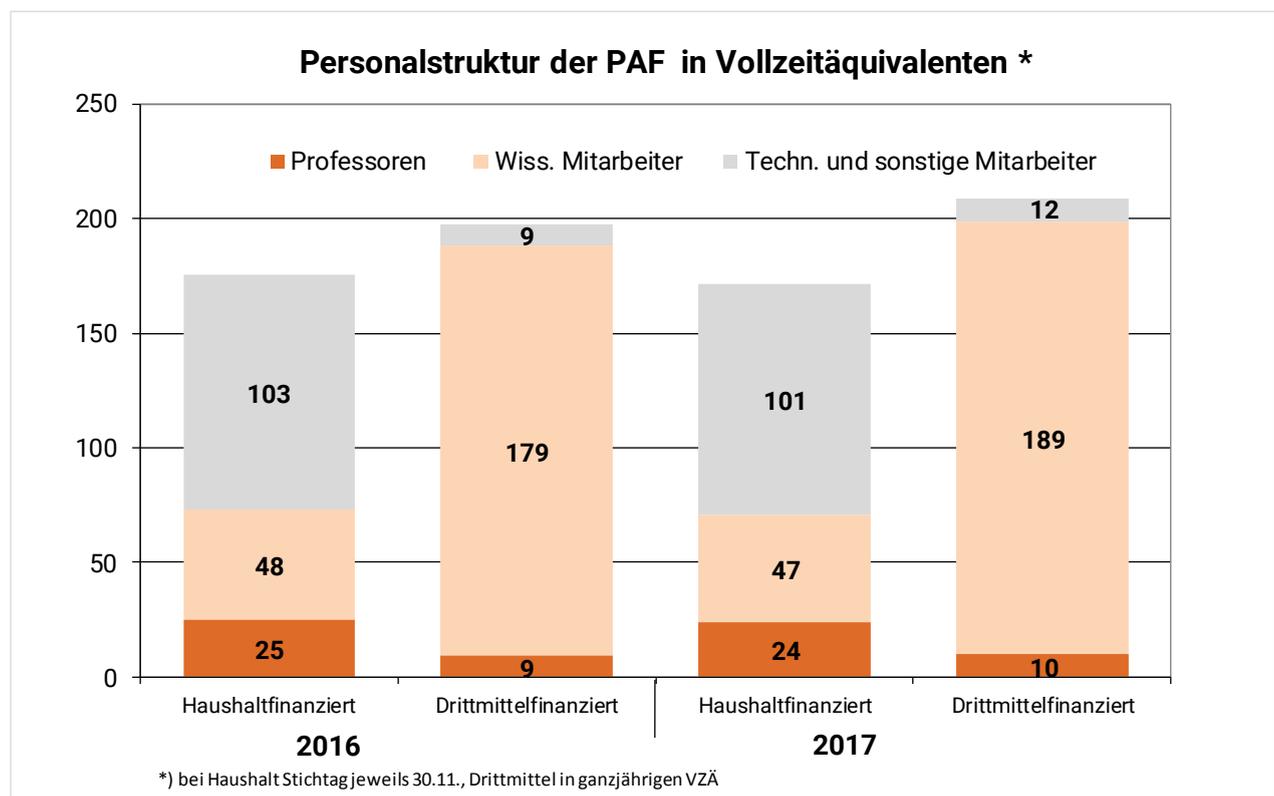
Der Physik-Didaktiker Prof. Dr. Karl-Heinz Lotze ist seit seiner Pensionierung im Oktober 2016 als Seniorprofessor der Wilhelm- und Else- Heraeus-Stiftung weiterhin an der PAF tätig.

Personalstruktur

Wie dem unten aufgeführten Diagramm zur Personalstruktur der Physikalisch-Astronomischen Fakultät zu entnehmen ist, sind mehr als die Hälfte unserer Mitarbeiter über Drittmittel oder Stipendien beschäftigt. Im Bereich der wissenschaftlichen Mitarbeiter und Stipendiaten sind dank der sehr erfolgreichen Drittmittelinwerbung (siehe S. 7) sogar nur etwa 20 % aus dem Haushalt finanziert. Und selbst bei den Professoren sind mehr als ein Drittel über Stiftungs-Professuren oder gemeinsame Berufungen mit außeruniversitären Einrichtungen finanziert. Meist hat dies eine deutlich reduzierte Lehrverpflichtung zur Folge.

Zur Absicherung einer hochqualitativen Lehre und zur wissenschaftlichen Betreuung von (Groß-)Geräten sollen im Bereich der akademischen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen sogenannte Funktionsstellen eingerichtet werden. Seit 2016 arbeitet die Fakultät gemeinsam mit dem Personaldezernat und der Universitätsleitung an

einem Dauerstellenkonzept für die wissenschaftlichen Mitarbeiter. Dieses sieht nach Vorgaben der Universitätsleitung bis 2021 einen Aufwuchs der derzeitigen 19,75 Dauerstellen um 3% vor. Dabei sind gegenwärtig etwa 39% der Wissenschaftlerstellen unbefristet. Da die Fakultät keine zusätzlichen Haushaltsstellen bekommen wird, geht eine Erhöhung der Zahl der Dauerstellen zu Lasten der befristeten Wissenschaftler- oder Technikerstellen. Fakultätsleitung und Fakultätsrat haben sich daher im zähen Ringen auf 21 Dauerstellen, die zur Absicherung von Lehre und Forschungsinfrastruktur unbedingt notwendig sind, geeinigt. Die Verhandlungen mit der Universitätsleitung stehen kurz vor dem Abschluss und wir sehen diesen optimistisch entgegen.



Preise und Ehrungen

Nachfolgend sind Preise und Ehrungen aufgeführt, die Mitglieder der Physikalisch-Astronomischen Fakultät im Berichtszeitraum erhalten haben. Genannt sind jeweils Preisträger, Name des Preises, Datum der Verleihung und ggf. die Dotierung.

Astrophysikalisches Institut und Universitätssternwarte

Lehrstuhl für Astrophysik (Prof. Neuhäuser)

Anna Pannicke: 1. Poster-Preis, 626. WE-Heraeus Seminar on Neutron Stars in Bad Honnef, 2016

Oliver Lux: 2. Poster-Preis, 626. WE-Heraeus Seminar on Neutron Stars in Bad Honnef, 2016

Professur für Astronomie (Prof. Krivov)

Alexander Krivov: Research in Astronomy and Astrophysics Excellent Paper Award, Chinese Academy of Sciences, 2016

Jonas Greif: 1. Poster-Preis, 10th International Workshop "Cosmic Dust" in Mitaka, Japan, August 2017

Institut für Angewandte Physik

Lehrstuhl für Angewandte Physik (Prof. Tünnermann)

Nadja Felde: EMASST AWARD on Surface Science for the best scientific work

Marcus Trost: STIFT Sonderpreis Thüringen für die Dissertation, 2016

Professur für Festkörperlaser (Prof. Limpert)

Martin Gebhardt: Student Presentation Award, OSA Laser Congress, Japan

Thomas Gottschall: 3rd Place Best Student Paper, Photonics West, Fiber Lasers: Technology and Systems

Arno Klenke: Preis der Dr.-Ing. Siegfried Werth Stiftung für die beste Dissertation auf dem Gebiet der dimensionellen Messtechnik, 2017, 1.500 €

Michael Müller: 2nd Place Best Student Oral Paper Competition, Photonics West, Fiber Lasers: Technology and Systems

Sven Breilkopf: 3rd Place Best Student Presentation, Photonics West, Fiber Lasers: Technology, Systems and Applications

Martin Gebhardt: Outstanding Oral Presentation Award, Advanced Solid State Lasers Conference (ASSL), Boston, USA

Martin Gebhardt: Carl Zeiss PhD Award in Modern Optics, 2016, 3.000 €

Thomas Gottschall: Jenlab Young Investigator Award, Photonics West, BIOS - Multiphoton Microscopy in the Biomedical Sciences XVI

Marco Kienel: Outstanding Oral Presentation Award, Advanced Solid State Lasers Conference (ASSL), Boston, USA

Getnet Tadesse: Best Poster Award at the international conference Coherence 2016

Professur für Laserphysik (Prof. Nolte)

Stefan Nolte: Berufung zum OSA Fellow, Optical Society of America

Thorsten Goebel: Transferpreis des Bundesverbandes mittelständige Wirtschaft & Wirtschaftsförderungsgesellschaft Jena

Helena Kämmer: 3rd Place Best Student Presentation, Photonics West, PIE LASE Frontiers in Ultrafast Optics conference

Robert Keil: Carl Zeiss Awards for Young Researchers

Professur für Nanooptik (Prof. Pertsch)

Justus Bohn: 2nd Place Poster Prize of the Complex Nanophotonics Science Camp

Jan Sperrhake: Best Student Poster Award, Photonica 2017 der OSA, Belgrad, Serbien

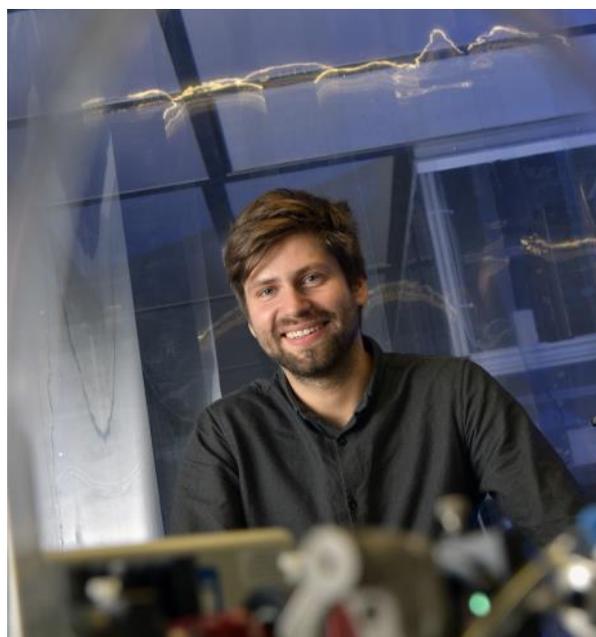


Abb. 1: Martin Gebhardt erhielt den 2016 erstmals vergebenen ZEISS Ph.D. Award in Modern Optics
Foto: Jan-Peter Kasper

Angela Klein: Preis der Dr.-Ing. Siegfried Werth Stiftung für die beste Dissertation auf dem Gebiet der dimensionellen Messtechnik, 2016, 1.500 €
Lehrstuhl für Theorie optischer Systeme
 (Prof. Gross)

Johannes Stock: Examenspreis der FSU Jena für die beste Masterarbeit, 2017

Professur für Technische Physik

Frank Wyrowski: Gastprofessur an der Chinese Academy of Science und am Institut of Technology (HIT), China

Juniorprofessur für Funktionelle Photonische Nanostrukturen (Jun.-Prof. Isabelle Staude)

Isabelle Staude: Hertha Sponer Preis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, 2017, 3.000€

Apl. Professur für Mikro- & Nanostrukturtechnik (apl. Prof. Zeitner)

Martin Heusinger: Best Student Paper Award, Photonics West, Advanced Fabrication Technologies for Micro/Nano Optics and Photonics IX

David Schmelz: 1. Platz Beste Masterarbeit, gestiftet von der Fraunhofer-Gesellschaft und Sonderpreis der Stiftung für Technologie, Innovation und Forschung in Thüringen (STIFT), LASER World of Photonics, München 2017

Martin Steglich: 2. Platz Beste Dissertation, gestiftet von der Fraunhofer-Gesellschaft,), LASER World of Photonics, München 2017



Abb. 2: Arno Fink (rechts), Kuratoriumsvorsitzender der Dr.-Ing. Siegfried Werth-Stiftung verleiht den Preis für die beste Dissertation auf dem Gebiet dimensionellen Messtechnik am Alumni-Tag 2016 an Frau Dr. Angela Klein. Foto: Falk Ronneberger

Institut für Festkörperphysik

Lehrstuhl für Festkörperphysik (Prof. Ronning)

Claudia Schnohr: Habilitationspreis der Friedrich-Schiller-Universität, 2016, 5.000 €

Robert Röder: Fakultätspreis für die beste Dissertation, gestiftet von Rohde & Schwarz München, 2017, 1.500 €

Lehrstuhl für Festkörperphysik (Prof. Fritz)

Felix Otto: Fakultätspreis für die beste Masterarbeit, gestiftet von Rohde & Schwarz München, 2016, 1.000 €

Apl. Professur für dünne Schichten (apl. Prof. Schmidl)

Christian Katzer: Fakultätspreis für die beste Dissertation, gestiftet von Rohde & Schwarz München, 2016, 1.500 €

René Glaser: Examenspreis der Friedrich-Schiller-Universität Jena für die beste Masterarbeit, 2016

Apl. Professur für Ionenstrahlphysik

Elke Wendler: Lehrpreis des Dekanats der Physikalisch-Astronomischen Fakultät, 2017, 650 €



Abb. 3: Den von der Firma Rohde & Schwarz München gestifteten Fakultätspreis für die beste Masterarbeit erhielt 2016 Felix Otto (oben Mitte) und den für die beste Dissertation Dr. Christian Katzer (unten Mitte).

Fotos Falk Ronneberger



Abb. 4: Verleihung des Habilitationspreises der FSU an PD Dr. Claudia Schnohr am Schillertag 2017
Foto: Jan-Peter Kasper

Institut für Festkörpertheorie und -optik

Lehrstuhl für Festkörpertheorie (Prof. Botti)

Claudia Rödl: Fellowship der Marie-Skłodowska-Curie-Maßnahmen (MSCA), 2017

Lehrstuhl für Festkörperoptik (Prof. Peschel)

Ulf Peschel: Lehrpreis der Fachschaft der Physikalisch-Astronomischen Fakultät für das Sommersemester 2017, 650 €

Institut für Optik und Quantenelektronik

Lehrstuhl für Nichtlineare Optik (Prof. Paulus)

Johann Jakob Abel: Fakultätspreis für die beste Masterarbeit, gestiftet von Rohde & Schwarz München, 2017, 1.000 €

Berit Marx-Glowna: bestes Konferenz-Poster und Vortrag, Gordon Research Conference X-ray Science, Easton, MA, USA, 30.07.-04.08.2017

Lehrstuhl für Atomphysik hochgeladener Ionen

Thomas Stöhlker: Distinguished Fellowship Award (Gastprofessur), verliehen durch IMP Lanzhou im Rahmen der International Fellowship Initiative des Präsidenten der Chinesischen Akademie der Wissenschaften (CAS), 2016

Lehrstuhl für Relativistische Laserphysik

Malte Kaluza: Lehrpreis der Fachschaft der Physikalisch-Astronomischen Fakultät für das Sommersemester 2016, 650 €

Juniorprofessur für Attosekunden-Laserphysik

Jan Reislöhner: Carl Zeiss PhD Award in Modern Optics, 2017, 3.000 €



Abb. 5: Dr. Ulrich Simon, Leiter der Konzernfunktion Research and Technology, verleiht den ZEISS Ph.D. Award 2017 an Jan Reislöhner.

Foto: JanBernert Photography

Otto-Schott-Institut für Materialforschung

Lehrstuhl für Metallische Werkstoffe

Katharina Freiberg, Robert Hanke, Markus Rettenmayr, Andreas Undisz: Best Paper Award 2016, Praktische Metallographie

Hannes Engelhardt: Promotionspreis der Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2016, 750 €

Professur für Oberflächen- und Grenzflächentechnologien (Prof. Müller)

Stephan Gräf: Lehrpreis der Fachschaft der Physikalisch-Astronomischen Fakultät für das Wintersemester 2016/17, 650 €



Den Promotionspreis der FSU 2016 erhielt Dr. Hannes Engelhardt vom Otto-Schott-Institut für Materialforschung. Foto: Jan-Peter Kasper



Der Promotionspreis der FSU 2017 wurde an Dr. Tim Dietrich vom Theoretisch-Physikalisches Institut verliehen. Foto: Jan-Peter Kasper

Theoretisch –Physikalisches Institut

Lehrstuhl für Gravitationstheorie

Tim Dietrich: Promotionspreis der Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2017, 750 €

Lehrstuhl für Quantentheorie (Prof. Gies)

Christian Kohlfürst: Victor-Hess-Preis der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft für hervorragende Dissertationen auf dem Gebiet der Kern- und Teilchenphysik, 2017, 1.000 €

Lehrstuhl für Theorie korrelierter Quantensysteme in intensiven Feldern

Stephan Fritzsche: Lehrpreis des Dekanats der Physikalisch-Astronomischen Fakultät, 2017, 650€



Dr. Christian Kohlfürst erhielt 2017 den Victor-Hess-Preis der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft.

AG Didaktik des Physik- und Astronomieunterrichts

Karl-Heinz Lotze: Wilhelm und Else Heraeus-Seniorprofessur für innovative Ausbildungskonzepte im Fach Physik, 2016– 2019

Silvana Fischer: Lehrpreis der Fachschaft der Physikalisch-Astronomischen Fakultät für das Wintersemester 2015/16, 650 €

Mitgliedschaften und Funktionen

Astrophysikalisches Institut und Universitätssternwarte

Lehrstuhl für Astrophysik

Prof. Dr. Ralph Neuhäuser:

- Mitglied Beirat Ethik-Zentrum FSU
- Mitglied Herausbergremium der internat. referierten Zeitschrift "Astronomical Notes"
- Mitglied DPG, AG, IAU, Elinas etc.
- Mitglied SOC der internat. Konferenz "Long-term datasets for the understanding of solar and stellar magnetic cycles", Indien Feb. 2018
- Co-Chair SOC der internat. Konferenz Focus Meeting 5 "Understanding historical observations to study transient phenomena" bei der General Assembly Wien Aug. 2018 der International Astronomical Union

Professur für Astronomie

Prof. Dr. Alexander Krivov:

- Mitglied der International Astronomical Union
- Mitglied der American Astronomical Society
- SOC Chair, int. Workshop "Planet Formation and Evolution-2017", Jena
- SOC Co-Chair, Splinter Meeting "Exoplanets" bei der Jahrestagung-2017 der Astronomischen Gesellschaft in Göttingen
- SOC Mitglied, int. Workshop "Planets Days" bei der 30. IAU General Assembly in Wien
- SOC Mitglied, int. Workshop "Planet Formation and Evolution-2019" in Rostock
- Gutachter für die Alexander von Humboldt-Stiftung und die DFG
- Stellvertretendes Mitglied des Studienausschusses des Senats der FSU (bis 30.9.2016)
- Mitglied des Wahlprüfungsausschusses der FSU

Institut für Angewandte Optik

Lehrstuhl für Kohärenzoptik (bis 2016)

Prof. Dr. Richard Kowarschik:

- DFG-Fachkollegiat im Fachkollegium 308
- Mitglied der DFG-Sektion „Medizintechnik“
- Stellv. Direktor des Zentrums für Medizinische Optik (CeMOP)

Lehrstuhl für Superresolution Microscopy

Prof. Dr. Christian Eggeling:

- Biophysical Society, Deutsche Physikalische Gesellschaft, Deutsche Bunsengesellschaft, British Society of Immunology, British Biophysical Society
- *Editorial boards*: NanoBioimaging, Frontiers in

Physiology, Journal of Physics D (ab 2018 Chief Editor Biological Section), Scientific Reports, Instruments

- Mitglied in folgenden Komitees: Image Facility Weatherall Institute of Molecular Medicine (WIMM) University of Oxford (Chair); Health and Safety Committee WIMM; Postdoctoral Students Committee WIMM; Micron Oxford Advanced Bioimaging Unit Dep. Biochemistry University of Oxford; Nanoscopy Oxford Initiative (University of Oxford); Computational Biology Research Group (CBRG) Committee WIMM; Management Board EPSRC/MRC Oxford-Nottingham Centre for Doctoral Training in Biomedical Imaging; Lasers for Science (LSF) Facility Access Committee Har-

Institut für Angewandte Physik

Lehrstuhl für Angewandte Physik

Prof. Dr. Andreas Tünnermann:

- Rat der TU Bergakademie Freiberg
- Programmausschuss "Photonik" des BMBF
- Vorsitzender des Technischen Rats der Fraunhofer Gesellschaft
- Mitglied des Präsidiums der Fraunhofer Gesellschaft
- VDI/VDE-GMA Fachbeirat FB 8 „Optische Technologien der Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik“
- Kuratorium der Leibinger Stiftung
- Kuratorium des MPA, Heidelberg
- Kuratorium des MPQ, Garching
- Vorsitzender "AG Naturwissenschaften", Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik e.V.
- Direktor des Abbe Center of Photonics der FSU Jena
- Sprecher der Abbe School of Photonics der FSU Jena
- Mitglied acatech "Deutsche Akademie der Technikwissenschaften"
- Mitglied des Vorstandes des OptoNet e.V.
- Mitglied des Technischen Rates von Doctor Optics
- Aufsichtsratsmitglied Jenoptik AG
- Stakeholder Photonics 21-Plattform
- OSA-Fellow – Optical Society of America
- SPIE-Fellow – International Society of Optics and Photonics
- Redaktionsbeirat von Lasers & Photonics Review
- Co-Editor bei der Zeitschrift Applied Physics B

Professur für Festkörperlaser

Prof. Dr. Jens Limpert: Programmkomitee der SPIE Photonics West Conference "LASE 2016"

Dr. Jan Rothhardt:

- Mitglied des erweiterten Direktoriums des Helmholtz Instituts Jena
- Programmkomitee der CLEO Europe conference
- Programmkomitee der IEEE photonics conference
- Mitglied der Optical Society of America (OSA)

Professur für Laserphysik

Prof. Dr. Stefan Nolte:

- Mitglied des Haushaltsausschusses des Senats
- Geschäftsleitung der Abbe School of Photonics der FSU Jena
- Jurymitglied "Jugend forscht"
- Mitglied verschiedener Wissenschaftsausschüsse (CLEO Europe, Phot. West, LiM)
- Fellow of the Optical Society of America (OSA)
- Mitglied der SPIE, LIA, DPG

Professur für Nanooptik

Prof. Dr. Thomas Pertsch:

- Sprecher der Abbe School of Photonics der FSU Jena
- Kuratorium des Leistungszentrums Photonik der Fraunhofer Gesellschaft
- Sprecher der Initiative "Photonic Nanomaterials PhoNa"
- Komiteemitglied für die Esther Hoffman Beller Medaille der Optical Society of America
- Lokaler Koordinator des Erasmus Mundus Programmes – NANOPHI – Nonlinear Nanophotonics
- OSA-Fellow - Optical Society of America (OSA)

Lehrstuhl für Theorie optischer Systeme

Prof. Dr. Herbert Gross: Mitglied im Expertenkomitee der Baden-Württemberg Stiftung für Optische Technologien

Professur für Technische Physik

Prof. Dr. Frank Wyrowski:

- Co-Chair beim SPIE Workshop on Light Shaping, SPIE Meeting on Computational Optics
- Mitglied der technischen Programmkomitees der SPIE Konferenzen „Optics and Photonics for Information Processing“ und „Digital Optics for Immersive Displays“ sowie der OSA Konferenz "Digital Holography and 3D Imaging"

- Präsident der LightTrans GmbH und der Wyrowski Photonics UG

Juniorprofessur für Funktionelle Photonische Nanostrukturen

Jun.-Prof. Dr. Isabelle Staud:

- Chair bei der SPIE Optics + Photonics 2017 (San Diego), der ICCES Konferenz 2017 (Funchal) und bei der SPIE Photonics West 2017 (San Francisco)
- Mitglied der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) und von AcademiaNet
- Koordinator für die Initiative "Nano-Film" im Programm "Photonik Plus" des BMBF
- Gutachter für diverse Fachzeitschriften

Juniorprofessur für Ultraviolette Dualkamm-spektroskopie

Jun.-Prof. Dr. Birgitta Bernhardt:

- Mitglied der DPG
- Alumna der Alexander-von-Humboldt Stiftung

Apl. Professur für Mikro- und Nanostrukturtechnik

Dr. Adrian Szeghalmi: Mitglieder der DPG und der Optical Society of America (OSA)

Dr. Frank Schrepel: Koordinator des IAP am Beutenberg Campus e.V.

Institut für Festkörperphysik

Lehrstuhl für Festkörperphysik

Prof. Dr. Carsten Ronning:

- Fachkollegiat der DFG (Fachkollegium 307-01)
- Mitglied im Forschungsausschuss der FSU
- Mitglied des "Research College and Advisory Panel" der Dublin City University, Irland
- Editorial Board Member des Journals "Nano Energy"
- Honary Research Professor (2016-2019) an der Durban University of Technology, Südafrika
- Mitglied des BMBF-Gutachterausschusses „Erforschung kondensierter Materie an Großgeräten“

PD Dr. Claudia Schnorr:

- Mitglied in der DPG und der International X-Ray Absorption Society
- Mitglied der Akademie für Lehrentwicklung an der FSU

Lehrstuhl für Angew. Physik/Festkörperphysik

Prof. Dr. Torsten Fritz:

- Mitglied in DPG, DHV, Alexander-von-Humboldt-Club Deutschland
- Gutachter für DFG, FWF (Der Wissenschafts-

fonds Österreichs), ANR (L'Agence nationale de la recherche; Frankreich)

Professur für Tieftemperaturphysik

Prof. Dr. Paul Seidel:

- Mitglied der DPG, der Materials Research Society (MRS)
- Boardmitglied und Sekretär des Präsidenten der European Society for Applied Superconductivity (ESAS)
- Boardmitglied und Mitglied des Programmkomitees 2018 der Applied Superconductivity Conference (ASC)

Apl. Professur für Dünne Schichten

Apl. Prof. Dr. Frank Schmidl:

- Mitglied der Sachverständigenkommissionen beim Institut für medizinische und pharmazeutische Prüfungsfragen (IMPP) in Mainz
- Mitglied und stellv. Vorsitzender des gemeinsamen Ausschusses für die naturwissenschaftliche und die zahnärztliche Vorprüfung an der FSU
- Mitglied im Lehrerbildungsausschuss der FSU
- Mitglied der AG Physik in den Medizinisch-Pharmazeutischen Studiengängen (AGPM) in der DPG

Apl. Professur für Ionenstrahlphysik

Apl. Prof. Dr. Elke Wendler:

- Advisory Board der Zeitschrift Nuclear Instruments and Methods in Physics Research
- International Committee of the series of conferences on Ion Beam Modification of Materials (IBMM)
- International Committee of the series of conferences on Radiation Effects in Insulators (REI)

Institut für Festkörpertheorie und –optik

Lehrstuhl für Festkörpertheorie

Prof. Dr. Silvana Botti:

- Associated Editor des European Physics Journal B
- Research team leader of the European Theoretical Spectroscopy Facility (ETSF)
- Ordentliches Mitglied des Michael Stifel-Zentrums Jena für "Datengetriebene und Simulationsgestützte Wissenschaft"

Institut für Optik und Quantenelektronik

Lehrstuhl für Relativistische Laserphysik

Prof. Dr. Malte Kaluza:

- Mitglied des Senats der FSU
- Mitglied im Advisory Board des Bereichs „Matter and Technology“ am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Mitglied des Editorial Boards von „Applied Sciences“ und „Methods and Protocols“

Lehrstuhl für Atomphysik hochgeladener Ionen

Prof. Dr. Thomas Stöhlker

- Stellvertretender Forschungsdirektor, GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung
- Koordinator des Helmholtz-Programms „From Matter to Materials and Life“ des Forschungsbereichs Materie
- Mitglied des Wissenschaftlichen Rats „Helmholtz International Center for FAIR“
- Mitglied der NuPEEC Arbeitsgruppen „Fundamental Physics“ und „Applications and Societal Benefits“
- Mitglied des BMBF Gutachtergremiums für „Physik kleinster Teilchen“
- Editor „European Physical Journal D“
- Visiting Professor des IMP Lanzhou, Chinese Academy of Sciences
- International Advisory Committee, Lanzhou, China
- Leiter der Atomphysik-Abteilung der GSI-Darmstadt

Lehrstuhl für Nichtlineare Optik

Prof. Dr. Gerhard G. Paulus

- Mitglied des Scientific and Technical Advisory Committee of Centro des Laaseres Pulsados (CLPU), Salamanca, Spanien
- Mitglied des Scientific Advisory Committee of ELI-ALPS, Ungarn
- Mitglied des International Scientific and Technical Advisory Committee of ELI-DC

Otto-Schott-Institut für Materialforschung

Lehrstuhl für Metallische Werkstoffe

Prof. Dr. Markus Rettenmayr:

- Editor von „Journal of Crystal Growth“
- Mitglied im Editorial Board von „Practical Metallography“
- Vorsitzender der Kommission zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis an der FSU

Professur für Materialwissenschaft

Prof. Dr. Klaus D. Jandt:

- Mitglied des Vorstands der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM)
- Wissenschaftlicher Sprecher aller Fachausschüsse der DGM
- Leiter des DGM-Fachausschusses Biomaterialien sowie der DGM-Fortbildung Biomaterialien - Werkstoffe in der Medizintechnik
- Mitglied des Jena Center for Soft Matter
- Mitglied des Editorial Boards der internationalen first tier Journale: Acta Biomaterialia, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, Dental Materials, Advanced Healthcare Materials, Advanced Engineering Materials
- Mitglied des ERC-Panels PE8 2015, 2017
- Gutachtertätigkeiten: DFG, Alexander von Humboldt-Stiftung, ESF, EU Commission, ERC, BBSRC (GB), EPSRC (GB), NIH (USA), NSF (USA), Academy of Finland, la Caixa Foundation und viele weitere

Professur für Mechanik funktioneller Materialien

Prof. Dr. Enrico Gnecco:

- Mitglied in DFG und DGM
- Mitglied im Editorial Board von „Beilstein Journal of Nanotechnology“, Guest Editor

Professur für Grenzflächen- und Oberflächentechnologien

Prof. Dr. Frank Müller:

- Mitglied im Editorial Board von „Materials“, „Journal of Biomaterials Applications“ und „Materials Research—Ibero-American Journal of Materials“
- Gasteditor der Spezialausgabe „Bioinspired and biomimetic materials“ des Journals „Materials“
- Mitglied der DGM, der Deutschen Gesellschaft für Biomaterialien (DGBM), der International Society for Ceramics in Medicine (ISCM) und der European Society for Biomaterials (ESB)
- Ordentliches Mitglied des Center for Energy and Environmental Chemistry Jena (CEEC) und des Jena Center for Soft Matter (JCSM)

Theoretisch –Physikalisches Institut

Lehrstuhl für Quantentheorie

Prof. Dr. Holger Gies:

- Mitglied des erweiterten Direktoriums des Helmholtz-Instituts Jena
- Berufene Ombudsperson der FSU Jena

- Berufenes Mitglied der Steuerungsgruppe Gleichstellung der FSU Jena
- Berufener wissenschaftlicher Gutachter im Rahmen des Bund-Länder-Programms zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses 2017

Lehrstuhl für Quantentheorie

Prof. Dr. Andreas Wipf:

- Leiter des Fachverbands "Theoretische und Mathematische Grundlagen der Physik" der DPG, seit 2015
- Series-Editor von "Graduate Texts in Physics", Springer Verlag
- Senator der FSU Jena
- Mitglied des Rats der Graduiertenakademie der FSU Jena
- Vize-Direktor des Michael-Stifel-Zentrums Jena für "Datengetriebene und Simulationsgestützte Wissenschaft"

Lehrstuhl für Gravitationstheorie

Prof. Dr. Bernd Brüggmann: Direktor des Michael-Stifel-Zentrums Jena für "Datengetriebene und Simulationsgestützte Wissenschaft"

Lehrstuhl für Theorie korrelierter Quantensysteme in intensiven Feldern

Stephan Fritzsche:

- Mitglied des Direktoriums des Helmholtz-Instituts Jena, seit Januar 2014
- Mitglied im Project Review Panel (PRP) der Beamline P04 bei PETRA III, DESY Hamburg
- Mitherausgeber (Principal Editor) der Zeitschrift Computer Physics Communications
- Mitglied des International Advisory Boards des Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, seit Januar 2016.

Juniorprofessur für Quantentheorie

Jun.-Prof. Dr. Martin Ammon:

- Mitglied des Studienausschusses des Senats
- Gutachter für ERC, DAAD, Humboldt-Stiftung, FWF, Research Foundation Flandern (FWO), NWO, Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wiss. Forschung (SNF)

Hochschuldozentur für Relativistische Astrophysik

Apl. Prof. Dr. Reinhard Meinel:

- Mitglied der Astronomischen Gesellschaft
- International Society on General Relativity and Gravitation (ISGRG)

Professoren A –Z



Foto: privat

Jun.-Prof. Dr. Martin Ammon
Juniorprofessur für Theoretische Physik/ Quantentheorie
→ S. 100



Foto: Annegret Günther

Prof. Dr. Torsten Fritz
Lehrstuhl für Angewandte Physik/Festkörperphysik
→ S. 50



Foto: privat

Jun.-Prof. Dr. Birgitta Bernhardt
Juniorprofessur für Ultraviolette Dualkammspektroskopie
Stiftungs-Juniorprofessur der Carl-Zeiss-Stiftung
→ S. 44



Foto: Jan-Peter Kasper

Prof. Dr. Stephan Fritzsche
Lehrstuhl für Theorie korrelierter Quantensysteme in intensiven Feldern
→ S. 98



Foto: Annegret Günther

Prof. Dr. Silvana Botti
Lehrstuhl für Theoretische Physik/Festkörperphysik
→ S. 58



Foto: Annegret Günther

Prof. Dr. Holger Gies
Lehrstuhl für Quantenfeldtheorie; ehemals Heisenberg-Professur
→ S. 94



Fotostudio Gebhardt Jena

Prof. Dr. Bernd Brügmann
Lehrstuhl für Theoretische Physik/Gravitationstheorie
→ S. 96



Foto: Annegret Günther

Prof. Dr. Enrico Gnecco
Professur für Mechanik der funktionellen Materialien
→ S. 84



Foto: Lewi James Houghton

Prof. Dr. Tomáš Čížmár
Lehrstuhl für Wellenleiteroptik/Faseroptik
Leibniz-Institut für Photonische Technologien



Foto: FSU

Prof. Dr. Herbert Gross
Lehrstuhl für Theorie optischer Systeme
→ S. 34



Fotostudio Wilder Göttingen

Prof. Dr. Christian Eggeling
Lehrstuhl für Superresolution Microscopy
Institut für Angewandte Optik



Foto: Christian Högner

Prof. Dr. Artie Hatzes
Lehrstuhl für Astronomie, Thüringer Landessternwarte Tautenburg

Foto: Jan-Peter Kasper



Prof. Dr. Klaus D. Jandt
Lehrstuhl für Materialwissen-
schaft
→ S. 82

Foto: Annegret Günther



Prof. Dr. Stefan Nolte
Professur für Experimental-
physik/ Laserphysik
→ S. 36

Foto: Annegret Günther



Prof. Dr. Malte Kaluza
Lehrstuhl für Experimental-
physik/ Relativistische
Laserphysik
→ S. 64

Foto: Jan-Peter Kasper



Prof. Dr. Gerhard G. Paulus
Lehrstuhl für Experimental-
physik/ Nichtlineare Optik
→ S. 66

Foto: Jan-Peter Kasper



Prof. Dr. Alexander Krivov
Professur für Astronomie
→ S. 24

Foto: privat



Prof. Dr. Thomas Pertsch
Professur für Angewandte
Physik/ Nanooptik
→ S. 38

Foto: Jan-Peter Kasper



Prof. Dr. Jens Limpert
Professur für Experimental-
physik/ Festkörperlaser
→ S. 42

Foto: Annegret Günther



Prof. Dr. Ulf Peschel
Lehrstuhl für Theoretische
Physik / Festkörperoptik
→ S. 60

Foto: privat



Prof. Dr. Frank Müller
Professur für Oberflächen- und
Grenzflächentechnologien
→ S. 86

Foto: Jan-Peter Kasper



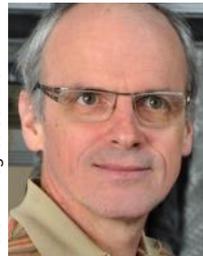
Jun.-Prof. Dr. Adrian Pfeiffer
Juniorprofessur für Attosekun-
den-Laserphysik
Stiftungs-Juniorprofessur der
Carl-Zeiss-Stiftung
→ S. 74

Foto: privat



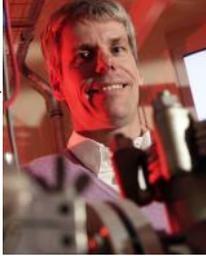
Prof. Dr. Ralph Neuhäuser
Lehrstuhl für Astrophysik
→ S. 22

Foto: Annegret Günther



Prof. Dr. Markus Rettenmayr
Lehrstuhl für Metallische Werk-
stoffe
→ S. 80

Foto: Jan-Peter Kasper



Prof. Dr. Carsten Ronning
Lehrstuhl für Experimental-
physik/Festkörperphysik
→ S. 52

Foto: privat



Jun.-Prof. Dr. Isabelle Staude
Juniorprofessur für Funktionel-
le Photonische Materialien,
Institut für Angewandte Physik

Foto: Annegret Günther



Prof. Dr. Heidemarie Schmidt
Lehrstuhl für Festkörperphysik/
Quantendetektion

Foto: Annegret Günther



Prof. Dr. Thomas Stöhlker
Lehrstuhl für Experimentalphy-
sik/Atomphysik hochgeladener
Ionen
→ S. 70

Foto: Jan-Peter Kasper



Prof. Dr. Markus Schmidt
Lehrstuhl für Faseroptik und
-sensorik
→ S. 110

Fotostudio Arlene Knipper



Prof. Dr. Andreas Tünnermann
Lehrstuhl für Angewandte
Physik
→ S. 32

Foto: privat



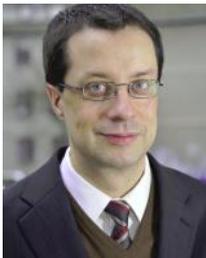
Prof. Dr. Paul Seidel
Professur für Angewandte
Physik/Tieftemperaturphysik
→ S. 54

Foto: privat



Prof. Dr. Andreas Wipf
Lehrstuhl für Theoretische
Physik/ Quantentheorie
→ S. 92

Foto: privat



Prof. Dr. Marek Sierka
Professur für Computational
Materials Science
→ S. 88

Foto: Fotostudio Stein Jena



Prof. Dr. Frank Wyrowski
Professur für Technische
Physik
→ S. 40

Foto: privat



Prof. Dr. Christian Spielmann
Lehrstuhl für Experimental-
physik/ Quantenelektronik
→ S. 68



Prof. Dr. Matt Zepf
Lehrstuhl für Laserteilchenbe-
schleunigung
→ S. 72

Außerplanmäßige Professoren

Foto: Fotostudio Lange Suhl



Prof. Dr. Karl-Heinz Lotze
apl. Professur für Physik und
Didaktik
Seniorprofessur der Wilhelm
und Else Heraeus –Stiftung für
innovative Ausbildungskonzepte
im Fach Physik → S. 106

Fotostudio Gebhardt Jena



Prof. Dr. Katharina Schreyer
apl. Professur für Physikali-
sches Experimentieren
Physikalisches Grundpraktikum
sowie AIU

Foto: Stefan Meinel



Prof. Dr. Reinhard Meinel
Hochschuldozentur für Relati-
vistische Astrophysik
apl. Professur für Theoretische
Physik
→ S. 102

Foto: privat



Prof. Dr. Elke Wendler
apl. Professur für Ionenstrahl-
physik
Institut für Festkörperphysik

Foto: Regina Geiling



Prof. Dr. Frank Schmidl
apl. Professur für dünne
Schichten
Institut für Festkörperphysik

Foto: FSU



Prof. Dr. Uwe Zeitner
apl. Professur für Experimen-
talphysik/ Mikro- und Nano-
strukturtechnik
→ S. 46

Professoren mit Zweitmitgliedschaft in der Physikalisch-Astronomischen Fakultät

Foto: Annegret Günther



Prof. Dr. Rainer Heintzmann
Lehrstuhl für Physikalische
Chemie I (Nanobiophotonik)
Chemisch-Geowissenschaftliche
Fakultät

Fotostudio Gebhardt Jena



Prof. Dr. Jürgen Reichenbach
Professur für Medizinische
Physik/ Bildgebung
Institut für Diagnostische und
Interventionelle Radiologie

Abkürzungen

ACP	Abbe Center of Photonics
AIU	Astrophysikalisches Institut und Universitätssternwarte
ASP	Abbe School of Photonics
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
DAAD	Deutscher Akademischer Austauschdienst
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DGM	Deutsche Gesellschaft für Materialkunde
DPG	Deutsche Physikalische Gesellschaft
FSU	Friedrich-Schiller-Universität Jena
GRK	Graduiertenkolleg
HIJ	Helmholtz-Institut Jena
IAO	Institut für Angewandte Optik
IAP	Institut für Angewandte Physik
IFK	Institut für Festkörperphysik
IFTO	Institut für Festkörpertheorie und –optik
IOF	Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik Jena
IOQ	Institut für Optik und Quantenelektronik
IPC	Institut für Physikalische Chemie der Chemisch-Geowissenschaftlichen Fakultät
IPHT	Leibniz-Institut für Photonische Technologien
OSIM	Otto-Schott-Institut für Materialforschung
PAD	AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie
TAB	Thüringer Aufbaubank
TLS	Thüringer Landessternwarte
TPI	Theoretisch-Physikalisches Institut
ZAF	Zentrum für Angewandte Forschung

www.physik.uni-jena.de