



reflexion

LEIBNIZ-INSTITUT *für* PHOTONISCHE TECHNOLOGIEN // JAHRESBERICHT 2017



Leibniz | ipht 
LEIBNIZ-INSTITUT *für*
PHOTONISCHE TECHNOLOGIEN

Leibniz
Leibniz
Gemeinschaft
jenaphotonics®

Vielen Dank.

Wir bedanken uns herzlich bei all unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für ihre tagtägliche Arbeit und das hohe Engagement. Ebenso gilt unser Dank dem Freistaat Thüringen und dem Bund sowie allen Förderern und Partnern aus Politik, Wissenschaft und Industrie für die langjährige enge und vertrauensvolle Kooperation. Wir freuen uns auf eine weitere erfolgreiche Zusammenarbeit.

Forschung, Entwicklung und ausgewählte Veranstaltungen am Leibniz-IPHT werden unterstützt von:



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

» in Jahresberichten werden traditionell zum Jahresanfang aktuelle Kennzahlen veröffentlicht. Wie hoch ist das Gesamtbudget? Wie groß daran ist der Anteil an Drittmitteln? Wie viele Patente wurden erteilt und wie viele Fachartikel veröffentlicht? Diese und weitere Eckdaten finden Sie natürlich auch in unserem aktuell vorliegenden Bericht. Sie belegen eindrucksvoll, dass 2017 ein sehr erfolgreiches Jahr für das Leibniz-IPHT war. Gleichwohl verraten diese Indikatoren doch nur wenig über die zugrundeliegende Motivation für unser Handeln. Denn es wäre falsch, wollte man das Bestreben nach immer besseren Eckdaten als die einzig treibende Kraft hinter unserer Arbeit ansehen. Aber was ist es dann, was uns motiviert? Ist es der reine Erkenntnisgewinn – der Wunsch zu verstehen, was die Welt im Innersten zusammenhält? Die Grundlagenforschung hat seit Beginn an einen hohen Stellenwert am Leibniz-IPHT, beschreibt aber nicht die Gesamtheit unseres Forschungsprofils.

Was uns antreibt, ist der Wunsch, mit unserer Forschungsarbeit einen Beitrag als Antwort auf bestehende gesellschaftliche Herausforderungen zu leisten. Dies gilt insbesondere für die Bereiche Medizin, Gesundheit, Umwelt und Sicherheit. Im vorliegenden Jahresbericht möchten wir Ihnen ausgewählte photonische Lösungsansätze für den Einsatz in der Medizin und dem Gesundheitssektor vorstellen und auf die jeweils zugrundeliegenden technologischen Innovationen eingehen. Darüber hinaus beleuchten wir Aspekte der Translation: welchen Beitrag können wir – gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und den Kliniken – leisten, um technische Lösungen in marktfähige Anwendungen zu überführen.

Viel Freude beim Lesen wünschen Ihnen

Jürgen Popp
Wissenschaftlicher Direktor

Frank Sondermann
Kaufmännischer Direktor



Prof. Dr. Jürgen Popp



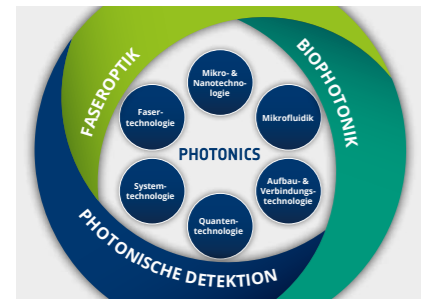
Frank Sondermann

PHOTONICS FOR LIFE
from Ideas to Instruments

Inhalt

6 **Optische Gesundheitstechnologien**

Gemäß dem Motto „Photonics for Life“ erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Leibniz-IPHT photonische und biophotonische Lösungen für Fragestellungen aus den Bereichen Medizin, Gesundheit, Umwelt und Sicherheit.



8 **Infektionsdiagnostik: Vom Labor in die Klinik**

Wie die translationale Forschung strukturelle Lücken in der Innovationskette überwinden kann



10 **Antibiotikaresistenzen auf der Spur**

Kombiniert mit mikrofluidischen Lab-on-a-Chip Systemen können lichtbasierte Diagnosetechnologien bakterielle Krankheitserreger sowie deren Antibiotikaresistenzen in etwa drei Stunden nachweisen.



12 **Bakterien, Viren oder Pilze**

Ein Nanopartikel-basiertes optisches Analyseverfahren kann zuverlässig mehrere Krankheitskeime gleichzeitig identifizieren.



14 **SERS als universelles analytisches Werkzeug**

Hochempfindliche Spektroskopie integriert in mikrofluidische Kartuschensysteme ermöglicht die Vor-Ort-Analytik in vielen Einsatzgebieten.



16 **Blick ins Körperinnere**

Neue Technologien lassen Hightech-Mikroskope auf Kugelschreibergröße zusammenschrumpfen.



20 **Silicium-Nanopartikel für die Medizin der Zukunft**

Die außergewöhnlichen Eigenschaften von Silicium-Nanostrukturen werden zur Erforschung neuer Strahlungssensoren und Krebstherapeutika genutzt.



22 **Innovation durch Kooperation**

Vielfalt als Stärke: Zusammenarbeit im Leibniz-Forschungsverbund Gesundheitstechnologien



26 **Brücken bauen**

Systemtechnologie ebnet den Weg für Innovationen.



28 **Mehr als die Summe aller Teile**

Internationale Kooperationen eröffnen Synergien.



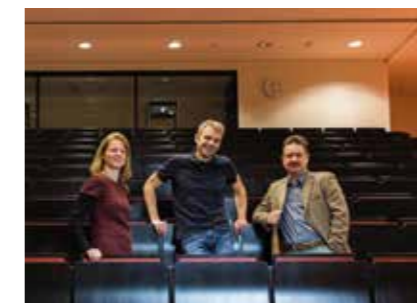
30 **Nachwuchsförderung**

Die Förderung herausragender junger Forscherinnen und Forscher ist ein Grundpfeiler für die wissenschaftliche Weiterentwicklung des Instituts.



32 **Willkommen im Team**

Mit drei Neuberufungen ist es gelungen international hochrangige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nach Jena zu holen, die die Forschungsschwerpunkte Biophotonik, Faseroptik und Quantendetektion am Institut weiter profilieren.



34 **Ausgezeichnetes Personal**

Preisgekrönte Wissenschaft aus dem Leibniz-IPHT



36 **Königlicher Glanz**

Der niederländische König Willem-Alexander und Königin Máxima zu Gast am Leibniz-IPHT.



38 **Wissenschaftliche Beiträge in der App**

40 **Zahlen und Fakten**

42 **Organigramm, Forschungseinheiten**

43 **Wissenschaftlicher Beirat, Kuratorium**

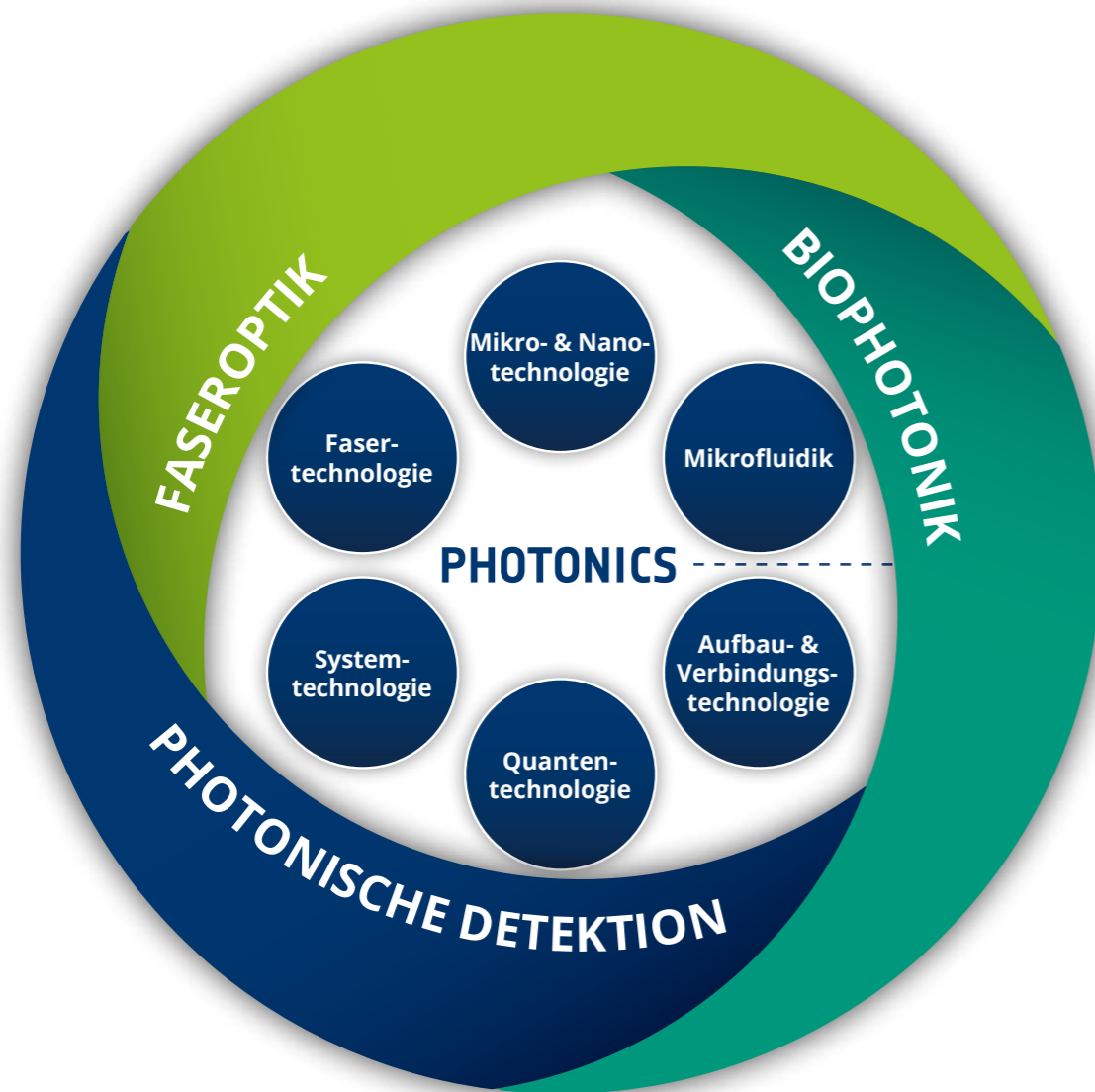
44 **Vereinsmitglieder**

45 **Finanzen des Institutes**

46 **Personal des Institutes**

Optische Gesundheitstechnologien

From Ideas to Instruments



» Gemäß dem Motto „Photonics for Life“ erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Leibniz-IPHT photonische und biophotonische Lösungen für Fragestellungen aus den Bereichen Medizin, Gesundheit, Umwelt und Sicherheit. Die aus der Forschung gewonnenen Erkenntnisse werden in anwendungsgerechte Verfahren, instrumentelle Konzepte und Labormuster umgesetzt.

Das Leibniz-IPHT arbeitet an der Schnittstelle von drei Forschungsschwerpunkten: Faseroptik, Photonische Detektion und Biophotonik. Die Forschungsaktivitäten zielen darauf ab, bei (bio)photonischen Lösungen im Hinblick auf Auflösung, Sensitivität, Spezifität, Geschwindigkeit,

Genauigkeit und Automatisierung in neue Dimensionen vorzudringen. Erfolge in diesen Kategorien bilden die Grundlage für die Erforschung und Entwicklung moderner optischer Gesundheitstechnologien, wie z.B. eine schnellere und genauere medizinische Diagnostik. Hierbei werden

die gesamte Prozesskette – inklusive Probenvorbereitung und -handhabung – sowie die Auswertung insbesondere statistischer, chemometrischer und bildtechnischer Daten abgebildet. Ziel ist es, medizinischen sowie lebens- und umweltwissenschaftlichen Partnern neue Analyse-, Diagnose-

und Untersuchungsmethoden bereitzustellen und eine Brückenfunktion zwischen Optik und Photonik auf der einen und Lebens- bzw. Umweltwissenschaften und Medizin auf der anderen Seite einzunehmen. Lösungen aus dem Leibniz-IPHT tragen dazu bei, unser Leben sicherer und gesünder zu machen.

Für die notwendige technische Realisierung betreibt das Leibniz-IPHT intensive Grundlagenforschung auf den Gebieten der Mikro-/Nanotech-

nologie, der Quantentechnologie, der Mikrofluidik, der Aufbau- und Verbindungstechnologie sowie der Faser- und Systemtechnologie. Herausragende personelle Kernkompetenzen in Kombination mit einer exzellenten Infrastruktur und einer außerordentlich guten technischen Ausstattung, stellen ein Alleinstellungsmerkmal des Leibniz-IPHT dar. Bei der Erforschung photonischer Gesundheitstechnologien können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler somit auf ein breites technologisches Portfolio im Haus

zurückgreifen. Darüber hinaus ergeben sich aus der Kooperation mit einer Vielzahl von nationalen und internationalen Partnern interdisziplinäre Perspektiven, die das Institut gewinnbringend in eigene Forschungsaktivitäten einbringen kann.

Gemäß dem Motto „From Ideas to Instruments“ bildet das Leibniz-IPHT die gesamte Kette von der technologischen Grundlagenforschung bis zur Translation in maßgeschneiderte Lösungen für verschiedene Anwendungen ab.

Infektionsdiagnostik: Vom Labor in die Klinik

Wie die translationale Forschung strukturelle Lücken in der Innovationskette überwinden kann

» Die Annahme, dass Infektionskrankheiten vollständig besiegt sind, musste in den vergangenen Jahren revidiert werden. Insbesondere die weltweite Verbreitung (multi-)resistenter Bakterien und Pilze und das Auftreten bislang unbekannter Erreger stellen heute weltweit eine massive Bedrohung dar. Angesichts der aktuellen Situation müssen neue Diagnose- und Therapieverfahren für den Kampf gegen multi-resistente Krankheitserreger erforscht werden. Damit Forschungsergebnisse den Patienten tatsächlich und schneller als bisher zu Gute kommen, sind interdisziplinäre, translationale Forschungsinfrastrukturen erforderlich.

Im Durchschnitt vergehen 14 Jahre für die Weiterentwicklung einer Idee hin zu einem marktfähigen Produkt. Viele Konzepte können nicht realisiert werden, da Ressourcen und Entwicklungsstrukturen nicht vorhanden bzw. nicht nutzerorientiert zugänglich sind. Damit kann das in Deutschland vorhandene Innovationspotential nicht vollständig ausgeschöpft werden. Patienten profitieren nur mit großer Verzögerung von Forschungsergebnissen. „Diesen Zustand müssen wir dringend ändern“, so Prof. Jürgen Popp, Wissenschaftlicher Direktor des Leibniz-Instituts für Photonische Technologien.

Das Leibniz-IPHT hat gemeinsam mit zehn wissenschaftlichen Einrichtungen und Verbänden die Bundesregierung aufgerufen, translationale Forschungsinfrastrukturen in Kliniken zu schaffen. Die Ärzte, Naturwissenschaftler und Technologieentwickler fordern:

- › Entwicklung neuer Diagnoseverfahren stärker fördern
- › Erforschung neuer therapeutischer Ansätze verbessern
- › Innovationen beschleunigen
- › Räume für interdisziplinäre Forschung schaffen

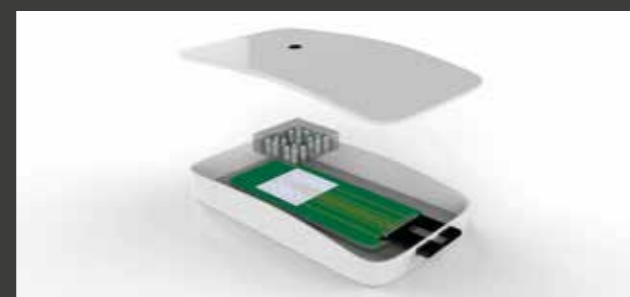
„Mit Unterstützung der Politik müssen Kompetenzen und Erfahrungen aus unterschiedlichen Bereichen strukturell zusammengeführt und gemeinschaftlich konkrete Strategien zur Bekämpfung von Infektionen entwickelt werden“, so Popp.

Ziel ist es, neue diagnostische Ansätze zu erforschen, vorhandene weiterzuentwickeln und in klinische Anwendungen zu überführen. Einen möglichen Ansatz bieten photonische

Technologien – Verfahren, die Licht als Werkzeug nutzen. Sie haben das Potential, die Infektionsdiagnostik zu revolutionieren. Schnell und direkt, ohne vorherige, zeitaufwendige Kultivierung der Proben, lassen sich Erreger und deren Resistenzen innerhalb von zwei bis drei Stunden bestimmen. Zugleich müssen neuartige therapeutische Lösungen und experimentelle Therapieansätze erforscht und klinisch getestet werden. Hierzu zählen unter anderem die Behandlung mit neuen Kombinationen vorhandener Wirkstoffe, der Einsatz von Nanopartikeln als Wirkstoffträger, Immunzellbasierte Therapien oder völlig neuartige Therapien, die eine Resistenzbildung seitens der Mikroorganismen vermeiden oder zumindest verzögern. Hierfür sind neben einer engen Zusammenarbeit von Naturwissenschaftlern, Technologieentwicklern, Medizinerinnen und Medizintechnikherstellern, standardisierte Prozesse sowie innovative Konzepte des Forschungsmanagements notwendig. Fragen zur klinischen Validierung und Zertifizierung müssen von Beginn an mit im Vordergrund stehen. „Vorhandene Lücken in der Innovationskette – von der Grundlagenforschung bis zur Markteinführung – sollen strukturell überwunden werden, um die Entwicklungszeit auf wenige Jahre zu verkürzen“, so Popp.



Prof. Jürgen Popp (Leibniz-IPHT), Prof. Axel Brakhage (Leibniz-HKI) und Prof. Michael Bauer (Universitätsklinikum Jena) entwickeln gemeinsame Strategien zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten.



Designstudie RamanBioAssay: Hürden bei der Weiterentwicklung zu einem marktfähigen Produkt müssen strukturell überwunden werden.



Entwurf des LPI-Gebäudes auf dem Campus des Universitätsklinikums Jena

Leibniz-Zentrum für Photonik in der Infektionsforschung

Ab 2019 könnte in Jena ein interdisziplinäres, nutzeroffenes Zentrum entstehen, an dem photonische Lösungen für Diagnostik, Monitoring und experimentelle Therapie bei Infektionen erforscht und mit der Industrie zu funktionsfähigen Lösungen entwickelt werden – das Leibniz-Zentrum für Photonik in der Infektionsforschung (LPI).

Durch die Verbindung photonischer Methoden mit der Infektions-

forschung entstehen am LPI diagnostische Ansätze und gezielte Therapieverfahren, welche direkt in die Anwendung und industrielle Produkte übertragen werden. Ein Ziel ist die Zusammenführung von Diagnostik und Therapie – die sogenannte Theragnostik. Nach Einschätzung des Wissenschaftsrats kann das LPI so „die Pathogendiagnostik weltweit revolutionieren“ und ein „enormes Potenzial für die Entwicklung neu-

artiger Technologien, neuer Sensoren und Messtechniken sowie neuer Leitstrukturen“ bieten.

„Einzigartig, hervorragend, bahnbrechend und wegweisend.“

Wissenschaftsrat: „Bericht zur wissenschaftsgeleiteten Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben für die Nationale Roadmap“ // www.wissenschaftsrat.de

Das LPI ...

... ist eines von elf Konzepten für umfangreiche Forschungsinfrastrukturen, das vom Wissenschaftsrat auf Bitte des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) begutachtet und vergleichend bewertet wurde. Das Bewertungsverfahren soll dem BMBF als Entscheidungsgrundlage für die Aufnahme in die Nationale Roadmap, dem Programm für Großforschungsprojekte der Bundesregierung, in der kommenden Legislaturperiode dienen. Umfangreiche Forschungsinfrastrukturen wie das LPI sind eine unabdingbare Voraussetzung, um wissenschaftlich anspruchsvolle Fragestellungen bearbeiten und international anschlussfähige Spitzenforschung betreiben zu können.

Beantragt wurde das LPI vom Leibniz-Institut für Photonische Technologien Jena e.V. (Leibniz-IPHT), dem Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie – Hans-Knöll-Institut (Leibniz-HKI) sowie dem Universitätsklinikum Jena und der Friedrich-Schiller-Universität Jena unter der Schirmherrschaft der Leibniz-Gemeinschaft.



Mit einem Raman-Mikrospektroskop erfasst Doktorand Marcel Dahms die spezifischen Schwingungsspektren der im Chip fixierten Bakterien.

Antibiotikaresistenzen auf der Spur

Ein Chip für die schnelle Infektionsdiagnostik

» Kombiniert mit mikrofluidischen Lab-on-a-Chip Systemen können lichtbasierte Diagnosetechnologien bakterielle Krankheitserreger sowie deren Antibiotikaresistenzen in etwa drei Stunden nachweisen. Damit ist die Technologie um ein Vielfaches schneller als die bisher üblichen biochemischen und molekularbiologischen Diagnostikverfahren. An der Schnittstelle von Photonik, Medizin, Mikrofluidik und Systemintegration arbeitet das Leibniz-IPHT gemeinsam mit dem Center for Sepsis Control and Care (CSCC) des Universitätsklinikums Jena (UKJ) an praxistauglichen photonischen Vor-Ort-Diagnoseverfahren.

Bakterielle Erreger sind die Verursacher häufiger Infektionskrankheiten wie Blasenentzündung und können Auslöser für eine lebensbedrohliche Sepsis sein. Um rechtzeitig eine Behandlung mit einem wirksamen Antibiotikum einzuleiten, benötigen Mediziner verlässliche Informationen über das Resistenzpotential des Bakteriums. Die Anforderungen an die Testverfahren sind hoch: Sie müssen schnell, einfach, spezifisch und empfindlich sein. Für den Einsatz in der Routineanalytik sollen die Methoden zudem automatisierbar sein. Erst so kann eine Vielzahl infektiöser Proben parallel und sicher, das heißt mit so wenig Kontakt wie möglich zum Nutzer, analysiert werden. Die üblichen mikrobiologischen Diagnostikverfahren sind zeitintensiv. Selbst automatisierte biochemische Testmethoden benötigen einen vollen Arbeitstag. Bis ein Ergebnis vorliegt, geben Mediziner häufig ein Breitspektrumantibiotikum, um der Infektion entgegenzuwirken. Diese unspezifische Medikation fördert die Ausbreitung resistenter Pathogene, deren zunehmende Anzahl und Verbreitung die Behandlungschancen von Infektionskrankheiten verringert.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Leibniz-IPHT, der Universität Jena und des CSCC am UKJ forschen an schnellen und kostengünstigen Alternativen zur bestehenden Erregerdiagnostik. Dazu kombiniert das Team um Forschergruppenleiterin Prof. Dr. Ute Neugebauer lichtbasierte Diagnosetechnologien mit mikrofluidischer Probenprozessierung. „Mit dem Lab-on-a-Chip-System, also einem miniaturisierten Labor, können wir Bakterienstämme und deren Resistenzen in nur dreieinhalb Stunden eindeutig bestimmen. Neben dem qualitativen Ergebnis, das heißt ob der Stamm resistent oder sensibel ist, erhalten wir quantitative Informationen. Daraus können wir die Mindestkonzentration des Antibiotikums abschätzen, die nötig ist um das Bakterienwachstum zu hemmen,“ schildert die Physikochemikerin den Vorteil der Methode. Die mikrofluidischen Lab-on-a-Chip-Systeme entstehen mittels Mikro- bzw. Nanostrukturierung im Reinraum des Leibniz-IPHT.

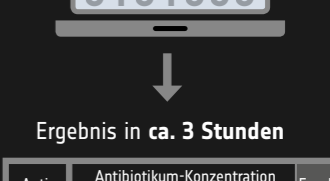
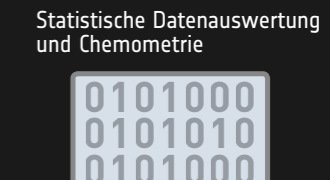
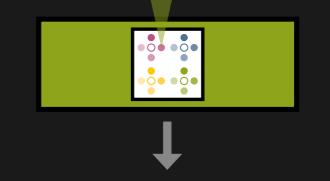
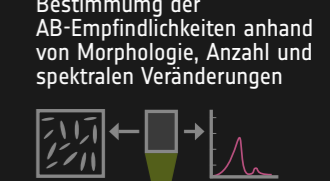
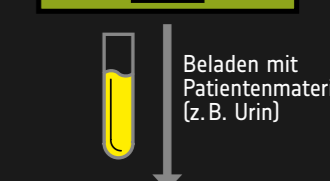
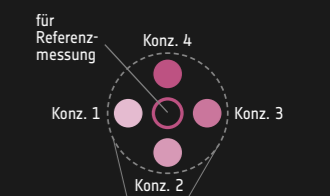
Für das Raman-spektroskopische Verfahren genügen bereits wenige Tropfen einer Patientenprobe. „Wir können beispielsweise den Urin eines Patienten mit Blasenentzündung ohne aufwändige Probenvorbereitung in den Chip geben. Für den automatisierten Analyseprozess ist kein Kontakt mit dem potentiell ansteckenden Material mehr nötig,“ so Neugebauer. Elektrische Felder fangen die Bakterien aus der Probe in einer bestimmten Region des Chips ein, wo sie anhand ihres spezifischen Raman-Spektrums und dessen Vergleich mit Datenbanken identifiziert werden.

Um die Antibiotikaresistenz zu bestimmen, tauschen die Forscher die Flüssigkeit im Chip mit einer Lösung aus, die das zu testende Antibiotikum enthält. Die Bakterien bleiben, festgehalten durch die elektrischen Felder, an Ort und Stelle. Innerhalb von zwei Stunden Messzeit zeigen sich feine Unterschiede in den Raman-Spektren der Erreger. Zu fein, um mit bloßem Auge Rückschlüsse auf eine vorliegende Resistenz zu ziehen. Das übernehmen die Analysealgorithmen, die Kooperationspartner PD Dr. Thomas Bocklitz in seiner Arbeitsgruppe „Statistische Modellierung und Bildanalyse“ am Leibniz-IPHT entwickelt. „Wir setzen Algorithmen zur Datenanalyse ein, die wir vorher auf die Erkennung der minimalen Unterschiede in den Spektren trainieren. Sie liefern einen ‚Medikamenten-Effektivitäts-Score‘, mit dem Mediziner unabhängig vom Gerät und der bedienenden Person zuverlässig entscheiden können: Ist der Bakterienstamm resistent oder nicht?“ so Bocklitz.

Aktuelle Forschungsprojekte mit lokal ansässigen Firmen zielen darauf ab, die Verfahren für die schnelle Resistenztestung zu parallelisieren und dadurch einen höheren Probandendurchsatz zu erzeugen. Mit Chips, die die Bakterien an mehreren Stellen gleichzeitig fangen, lassen sich vier verschiedene Antibiotika unterschiedlicher Konzentrationen gleichzeitig testen. Ein weiteres Forschungsgebiet ist die Isolation der Erreger aus der Probe. Hier sollen die Erkenntnisse aus der Arbeit mit Urinproben auf komplexere Körperflüssigkeiten wie Blut oder Schleimhautsekret übertragen und weiterentwickelt werden, so dass in Zukunft der Test für (fast) alle Patientenproben einsetzbar ist.

Bestimmung der Mindesthemmkonzentration mehrerer Antibiotika

RAMANBIOASSAY-Chip mit vorgelegtem Antibiotikum (AB)



Anti-biotika	Antibiotikum-Konzentration				Ergebnis
	Konz.1	Konz.2	Konz.3	Konz.4	
ABX1	×	✓	✓	✓	S
ABX2	×	×	×	✓	R
ABX3	✓	✓	✓	✓	S
ABX4	×	×	×	×	R

Resistogramm mit Mindesthemmkonzentration (MHK)

Lokalisierte Oberflächenplasmonenresonanz

Nanopartikel aus Gold oder Silber wechselwirken unter bestimmten Bedingungen mit Licht. Dabei beginnen die freien Elektronen in den Metallatomen der Partikel kohärent, das heißt mit gleicher Frequenz, zu schwingen. Die kollektiven Schwingungen der Elektronen parallel zur Oberfläche des Metalls heißen lokalisierte Oberflächenplasmonen. Sie absorbieren und streuen sichtbares Licht verschiedener Wellenlängen abhängig von Größe, Form und Material der Nanopartikel und deren Umgebung. Letzteres machen sich Forscherinnen und Forscher für bioanalytische Fragestellungen zunutze. Bindet ein Analytmolekül an die Erkennungsstrukturen auf der Oberfläche der Metallnanopartikel, ändert sich dort der Brechungsindex und damit die Wellenlänge der Oberflächenplasmonen auf der Metalloberfläche. Die spektrale Änderung wird erfasst und ausgewertet.

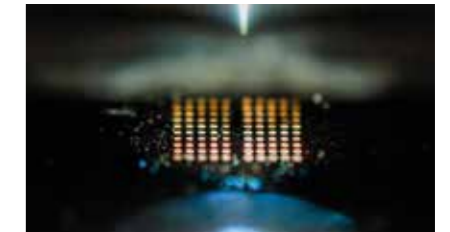


Je nach Größe, Material und Geometrie sind die Suspensionen plasmonischer Nanopartikel unterschiedlich gefärbt.

Bakterien, Viren oder Pilze?

Nanosensoren für die schnelle Erregeridentifikation

» Für eine gezielte und möglichst schnelle Bekämpfung von Krankheitserregern ist es notwendig den oder die Erreger genau zu kennen. Ein Nanopartikel-basiertes optisches Analyseverfahren kann zuverlässig mehrere Krankheitskeime gleichzeitig identifizieren – innerhalb weniger Stunden und ohne aufwändige Kultivierungsprozesse. Damit könnte die Technologie Einsatz in der Medizin, den Lebenswissenschaften, Biotechnologie und Umweltschutz finden.



Ein Mikroarray mit Spots aus plasmonischen Gold-Nanopartikeln.

Eine Krebspatientin zeigt nach einer Chemotherapie Symptome einer Infektion. Hohes Fieber, Schüttelfrost und Atemnot deuten auf eine Sepsis hin. Sind die Infektionsverursacher Bakterien oder Pilze? Die schnelle und eindeutige Antwort auf diese Frage kann über Leben und Tod der Patientin entscheiden. Denn nur eine frühe Behandlung mit dem richtigen Therapeutikum kann die Ausbreitung des Erregers im Körper der Frau aufhalten. Das Problem vor dem Mediziner stehen wird besonders im Fall einer Sepsis durch Infektion mit Pilzen deutlich. Sie ist schwierig zu diagnostizieren, da das Anziehen von Pilzkulturen zur genauen Bestimmung der Art mehrere Tage

dauert – noch länger als bei Bakterien. Die molekularbiologische Diagnostik, die derzeit die höchsten Erfolgswahrscheinlichkeiten verspricht, identifiziert jede Erregerart einzeln. Dadurch ist der Material- und Zeitaufwand groß und nicht immer ist die Suche beim ersten Mal erfolgreich. Ein Breitbandpilzmittel geben Mediziner in der Zwischenzeit ungern auf Verdacht, weil eine solche Behandlung den Patienten sehr schwächt. Bis die richtige Therapie eingeleitet werden kann verrinnt wertvolle Zeit, in der die Überlebenschancen der Patienten drastisch sinken.

Apl. Prof. Dr. Wolfgang Fritzsche, Leiter der Abteilung Nanobiophotonik am

Leibniz-IPHT, setzt zur schnellen und zuverlässigen Erregerbestimmung auf optische Technologien und Nanopartikel. „Wir nutzen ein markierungsfreies, lichtbasiertes Verfahren um die Sepsis-relevanten Pilzerreger anhand ihrer DNA nachzuweisen. Neu an der Methode ist, dass es uns gelingt fünf verschiedene Pilzarten gleichzeitig zu identifizieren,“ so Fritzsche über das Ergebnis des BMBF-geförderten Projekts „ImSpec“. Bisher wurden solche Tests nacheinander in Einzelmessungen durchgeführt, die meist aufwändige Laboraufbauten mit teuren Mikroskopen und Spektrometern erforderten. „Unser Ziel sind robuste und

preiswerte Systeme für die Bioanalytik vor Ort,“ beschreibt Arbeitsgruppenleiterin Dr. Andrea Csäki die Zukunft der Technologie. Deshalb

erforscht das Team um die Chemikerin neue Sensor-konzepte. Auf Chips ordnen sie Gold-Nanopartikel in Form eines Mikroarrays an und integrieren diese Chips in mikrofluidische Kartuschensysteme, die im Reinraum des Leibniz-IPHT entstehen. Einzelne Punkte (Spots) des Mikroarrays sind mit molekularen Erkennungsstrukturen verschiedener Pilzgruppen funktionalisiert. Die isolierte Erreger-DNA leiten die Wissenschaftler durch die Kartusche, wo sie ortsspezifisch an die Oberfläche des passenden Goldpartikelspots anbindet. Daraufhin ändern

die Nanosensoren ihre optischen Eigenschaften. „Anschließend lesen wir die einzelnen Punkte des Mikroarrays mit einem bildgebenden Verfahren aus,“ erklärt Csäki weiter. „So können wir die spektralen Informationen aus allen Bildpunkten gleichzeitig bestimmen und die Analysezeit, die nun nicht mehr mit der Anzahl der Messpunkte wächst, ist viel kürzer.“ Von der Probenahme bis zum Ergebnis benötigt das Verfahren nur wenige Stunden.

Eine Plattform, verschiedene Einsatzgebiete

Je nach analytischer Fragestellung, lässt sich das Protokoll für den Nachweis unterschiedlicher Krankheitserreger anpassen. So können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nicht nur verschiedene Sepsis-erregende Pilze bestimmen, sondern auch bakterielle Keime und deren Antibiotikaresistenzen. Mit der chipbasierten Plattform lassen sich zudem gesundheitsgefährdende Keime und Resistenzgene in der Umwelt aufspüren. Besonders in Oberflächengewässern sehen Forscher die zunehmende Anzahl antibiotikaresistenter Bakterien problematisch. Daher arbeitet das Leibniz-IPHT im Rahmen der internationalen EU-Verbundprojekte „TRACE“ und „WaterCHIP“, an plasmonischen chipbasierten Verfahren, die Pathogene und Resistenzgene schnell und sicher in Gewässern erfassen.



Dr. Dana Cialla-May entnimmt Wasserproben aus der Saale und setzt ihnen definierte Mengen eines Antibiotikums zu. Die „gespikten“ Proben nutzt die Physikochemikerin, um leistungsfähige SERS-basierte Analysemethoden zu erforschen.

SERS als universelles analytisches Werkzeug

Spektroskopie im Dienst der Umwelt und Gesundheit

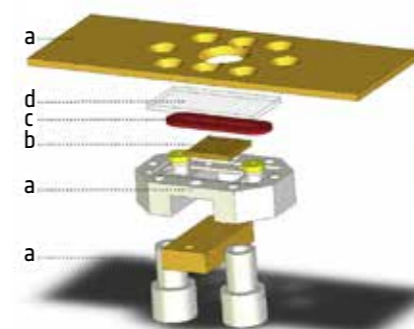
» Die oberflächenverstärkte Raman-Spektroskopie (SERS) ist ein leistungsfähiges und empfindliches Analyseverfahren für biologische, klinische und umweltanalytische Fragestellungen. SERS vereint die molekulare Spezifität der Raman-Spektroskopie mit einer hohen Sensitivität basierend auf der Verwendung plasmonischer Nanostrukturen. Doch erst die Kombination der SERS-Analytik mit mikrofluidischen Lab-on-a-Chip-Systemen, hergestellt im Reinraum des Leibniz-IPHT, erlaubt es geringe Konzentrationen eines Moleküls in einer Probe zu detektieren. Schnell und einfach, dazu robust, kostengünstig und automatisierbar, ermöglichen die Systeme zum Beispiel die quantitative Bestimmung von Medikamentenrückständen in Gewässern.

Medikamente wie Antibiotika und deren Stoffwechselprodukte finden sich nicht nur in Körperflüssigkeiten von erkrankten Menschen. Mit dem Abwasser gelangen Rückstände verabreichter Medikamente in Kläranlagen, in denen einige Substanzen nur unvollständig oder überhaupt nicht entfernt werden. Geraten solche Rückstände in die Umwelt können sie Schäden an Ökosystemen und beim Menschen anrichten. Dazu gehört die Ausbreitung multi-resistenter Bakterienstämme in Trink- und Oberflächenwasser. Sulfamethoxazol, ein allergieauslösendes Antibiotikum, das häufig bei Harnwegsinfektionen verabreicht wird, ist in Gewässern weltweit nachweisbar. Die Sicherung einer hohen Wasserqualität erfordert daher schnelle, robuste und kostengünstige Analyseverfahren, die auch kleinste Verunreinigungen aufspüren.

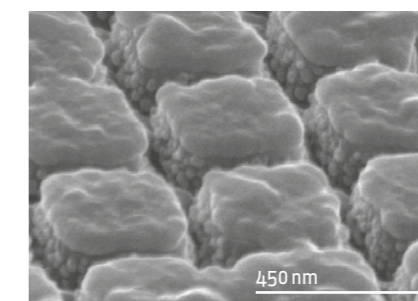
Aufgrund ihrer hohen Sensitivität und Spezifität eignet sich die SERS-basierte Analytik für das Umweltmonitoring ebenso wie für die Überwachung der Lebensmittelqualität oder des Medikamentenspiegels in Speichel- oder Urinproben von Patienten. Forscherinnen und Forscher des Leibniz-IPHT haben die Reproduzierbarkeit und Empfindlichkeit der Methode weiter erhöht. Dazu integrieren sie nanostrukturierte SERS-aktive Substrate in kompakte, mikrofluidische Lab-on-a-Chip-Kartuschensysteme. Zur Herstellung der SERS-Substrate und mikrofluidischen Komponenten können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf die etablierten Mikro- und

Nanotechnologien sowie die technologische Infrastruktur des Reinraums am Leibniz-IPHT zurückgreifen. Hier entstehen mittels Elektronenstrahl-Lithographie maßgeschneiderte SERS-aktive Substrate aus Silber oder Gold mit regelmäßigen Nanostrukturen. Die Strukturen verstärken die Raman-Signale der Analytmoleküle, die an ihre Oberfläche binden, um mehrere Größenordnungen. Die reproduzierbaren Substrate und die tröpfchenbasierte mikrofluidische Plattform erlauben die Detektion niedrig-konzentrierter Analyten (μM - bis nM -Bereich) in komplexen Proben. Der Zeitaufwand für die Analyse ist aufgrund der minimalen Probenaufbereitung, automatisierter Probenzufuhr und der hohen Messgeschwindigkeit geringer als bei üblichen chromatographischen Verfahren.

Das Anwendungspotential von SERS liegt vor Allem in der Vor-Ort-Analytik. Mit der kostengünstigen und schnellen Hochdurchsatzmethode können zukünftig mehrere Hundert Proben mit geringem Aufwand auf bestimmte Substanzen voruntersucht werden. Nach diesem Screening würden dann nur die „Treffer“ mittels der üblichen chromatographischen Analysemethoden im Labor genau bestimmt. Aktuell arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Leibniz-IPHT daran, die Probenaufbereitung weiter zu minimieren. Dazu erforschen sie Substrate, die eine hohe Affinität zum Analyten aufweisen und so die Substanzen noch einfacher in komplexen Probenmatrices aufspüren.



Mikrofluidisches System für die SERS-basierte Analytik, (a) Kartusche, (b) SERS-Substrat, (c) mikrofluidischer Kanal aus Silikon, (d) Glasabdeckung



SERS-Substrat bestehend aus einem nanostrukturierten Quarz-Wafer, beschichtet mit einer 40 nm dicken Schicht aus Silber
Bilder: Analytica Chimica Acta, 2017, 949, 1-7. © 2017 Elsevier

Oberflächenverstärkte Raman-Spektroskopie (SERS)

Die oberflächenverstärkte Raman-Spektroskopie (SERS) ist um etwa 6 bis 8 Größenordnungen empfindlicher als konventionelle Raman-Spektroskopie. Die Signalverstärkung beruht auf der Wechselwirkung des eingestrahlten Lichts mit metallischen Nanostrukturen. An deren Oberfläche regt das Licht Plasmonen an. Die damit verbundenen lokalen Feldüberhöhungen verstärken das Raman-Signal um ein Vielfaches.

Die nanostrukturierten SERS-aktiven Substrate aus Silber oder Gold entstehen im Reinraum des Leibniz-IPHT. Dabei kommen sowohl Bottom-up- als auch Top-down-Techniken zum Einsatz. Mittels Elektronenstrahl-Lithographie (Top-down) lassen sich auf der gesamten Substratoberfläche einheitliche und wohlgeordnete Metallstrukturen erzeugen, die reproduzierbare Messsignale liefern. Die Nachteile der Lithographietechnik, d. h. die relativ hohen Produktionskosten und der Bedarf an Spezialausrüstung, werden durch ein vereinfachtes Verfahren mit wiederverwendbaren Quarz-templates kompensiert.

Für eine schnellere und einfachere Probenaufbereitung und um reproduzierbare Messergebnisse zu erhalten, werden die SERS-Substrate in ein mikrofluidisches Kartuschensystem integriert. In winzigen Kanälen strömt die Probenflüssigkeit über das SERS-Substrat. An dessen Oberfläche binden die Analytmoleküle an, deren spezifischer Fingerabdruck mit einem Raman-Mikrospektrometer erfasst wird.

Blick ins Körperinnere

Faserbasierte Sonden für die endoskopische Bildgebung

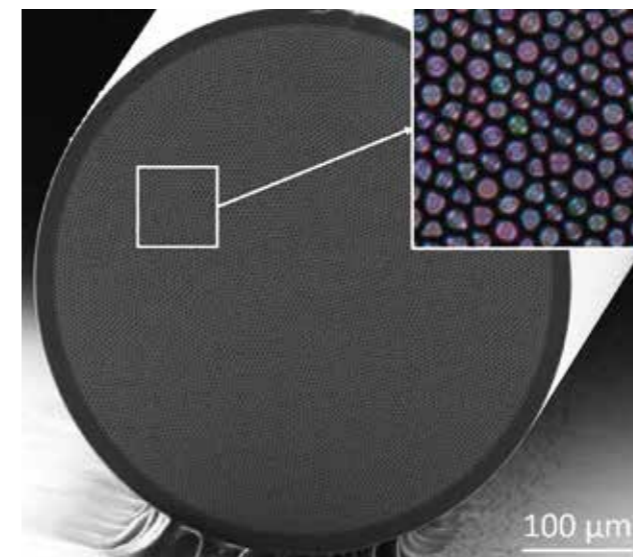
» Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Leibniz-IPHT arbeiten an einer neuen Generation miniaturisierter faserbasierter Multikontrast-Bildgebungsmethoden für markerfreie Einblicke in das Körperinnere, wie den Verdauungstrakt, Nasen-Rachen-Raum, Blase oder Blutgefäße. Die erforschten Sonden haben die Größe eines Kugelschreibers und bieten vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der medizinischen Diagnostik: Ärzte könnten in Zukunft verdächtige Gewebeeränderungen minimal-invasiv beurteilen und damit schon während eines mikrochirurgischen Eingriffs oder endoskopischen Untersuchung Tumorränder oder Ablagerungen in Blutgefäßen erkennen.

Die Diagnose und Therapie von Gewebeeränderung während einer Operation stellt Mediziner vor eine Herausforderung. Zunächst müssen sie gutartige Veränderungen zuverlässig und schnell von Tumorgewebe unterscheiden. Ist ein Tumor erkannt, soll er bestenfalls schon beim ersten Eingriff vollständig entfernt werden und dabei möglichst viel gesundes Gewebe erhalten bleiben, was einen Vorteil

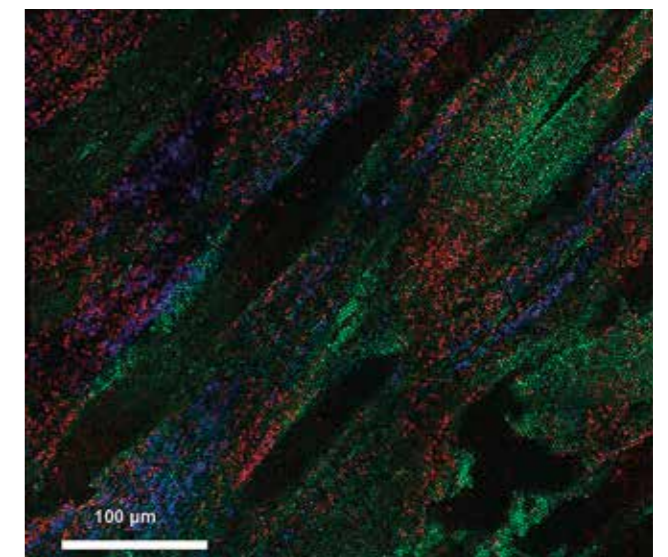
für den Patienten bedeuten würde. Das ist oft schwierig, da Tumorgewebe nicht immer mit dem bloßen Auge zu erkennen ist.

Kompakte Mikroendoskope, die schnelle, farbfreie Bildgebungstechniken und automatisierte Analyseroutinen mit faserbasierten Laserquellen sowie neuesten mikrooptischen Systemen kombinieren, haben das Potential die Gewebediag-

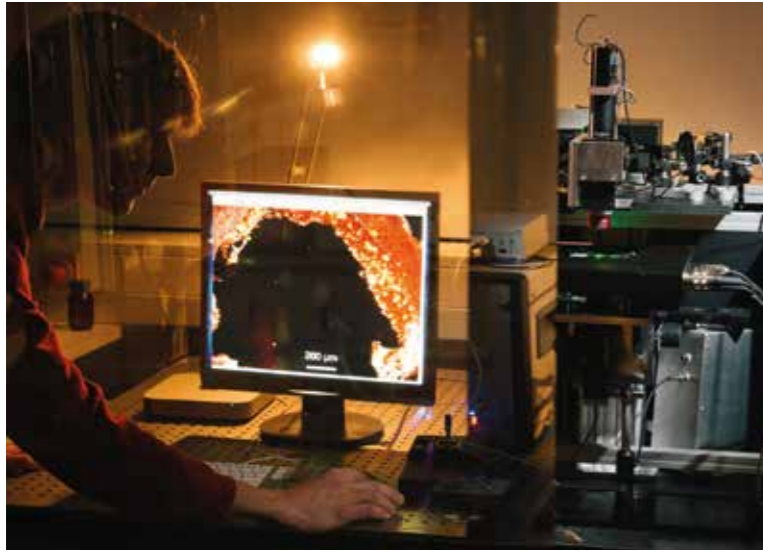
nostik zu revolutionieren. Integriert in ein kompaktes Endoskop könnten Mediziner verdächtige Veränderungen im Körperinneren ohne die Entnahme von Gewebeproben in Echtzeit erkennen und Tumore schon während der Operation von gesundem Gewebe abgrenzen. Dadurch wird das Risiko, dass Tumorreste im Körper des Patienten verbleiben und damit eine erneute Operation notwendig wird, entscheidend verringert.



Querschnitt einer endoskopischen Faser, die aus mehreren 10.000 Einzel-fasern besteht © BioPhotonics, 01.2017



Multimodale Aufnahme von Hautgewebe, Rot: CARS, Grün: TPEF, Blau: SHG © BioPhotonics, 01.2017



Gewebediagnostik mittels CARS-Mikroskopie

Optische Sonden für die In-vivo-Diagnostik

Ein Team des Leibniz-IPHT und der Friedrich-Schiller-Universität Jena erforscht und entwickelt in Zusammenarbeit mit der Firma Grintech eine flexible faseroptische Sonde, deren Kopf nicht dicker als ein Kugelschreiber ist. Die Fasersonde nutzt mehrere nichtlineare Bildgebungsmodalitäten wie CARS, SHG und TPEF (siehe Infobox) und könnte, integriert in ein Endoskop, für Untersuchungen des Magen-Darm-Traktes, im Kopf-Hals-Bereich sowie in der Urologie Einsatz finden. „Indem wir Multikernfasern aus 10.000 lichtleitenden Elementen zur Lichtführung verwenden, sind wir in der Lage alle beweglichen Teile sowie die Stromversorgung außerhalb des Sondenkopfes unterzubringen. So bleibt die Sonde kompakt und ermöglicht eine einfache und sichere Anwendung innerhalb des Körpers“, beschreibt Doktorand Aleksandar Lukić die Besonderheit der Technologie.

Dr. Tobias Meyer, der seit mehr als zehn Jahren nichtlineare Bildgebungsmethoden am Leibniz-IPHT erforscht, verfolgt einen weiteren technologischen Ansatz. Während er im Rahmen des Forschungsprojekts MediCARS noch kleine Gewebeprobe unter einem kompakten Mikroskop untersuchte, arbeitet der Wissenschaftler im Nachfolgeprojekt endoCARS in Kooperation mit akademischen, klinischen und industriellen Partnern aus Deutschland nun an starren mikroendoskopischen Multikontrast-Bildgebungssonden für den direkten Blick ins Gehirn. „Aus den gewebetypischen Bildern erhalten wir Aufschluss über dessen molekulare Zusammensetzung und Morphologie, woraus Neurochirurgen in Zukunft Tumore oder andere krankhafte Gewebeeränderungen direkt während der Operation erkennen können“, erklärt Tobias Meyer das Messprinzip. Der kompakte und integrierte Aufbau inklusive Laser soll den mobilen Einsatz der endomikroskopischen Sonden durch Chirurgen direkt im Operationsaal ermöglichen.

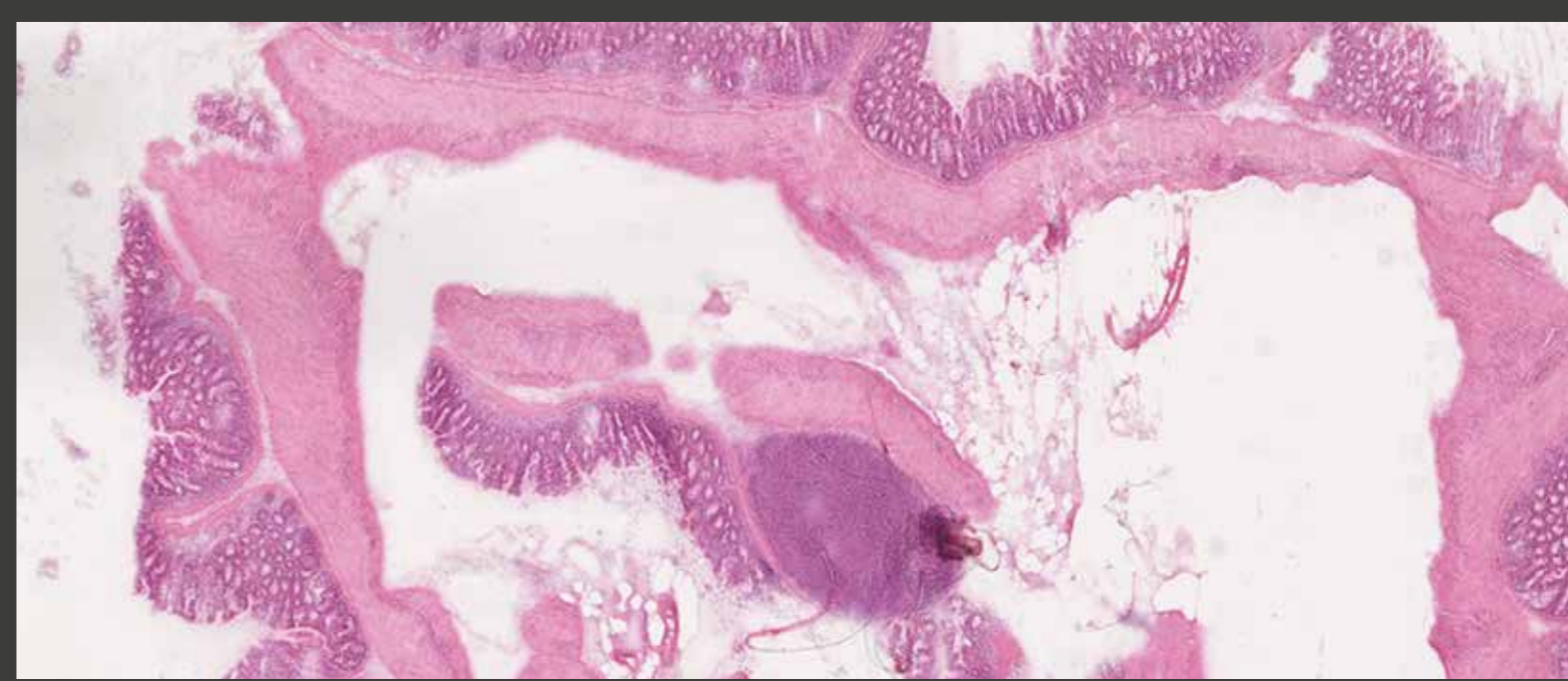
Das Ziel ist es, die Bildgebungstechnologien und Auswertelgorithmen weiter zu verbessern sowie die optischen Systeme für einen klinischen Einsatz anzupassen. Dazu gehört die Miniaturisierung der einzelnen Komponenten. In Zukunft, so der Wunsch der Mediziner, könnten die Fasersonden im Anschluss an den mikroendoskopischen Nachweis für die selektive Entfernung von Tumorgewebe eingesetzt werden.

Histopathologische Gewebediagnostik

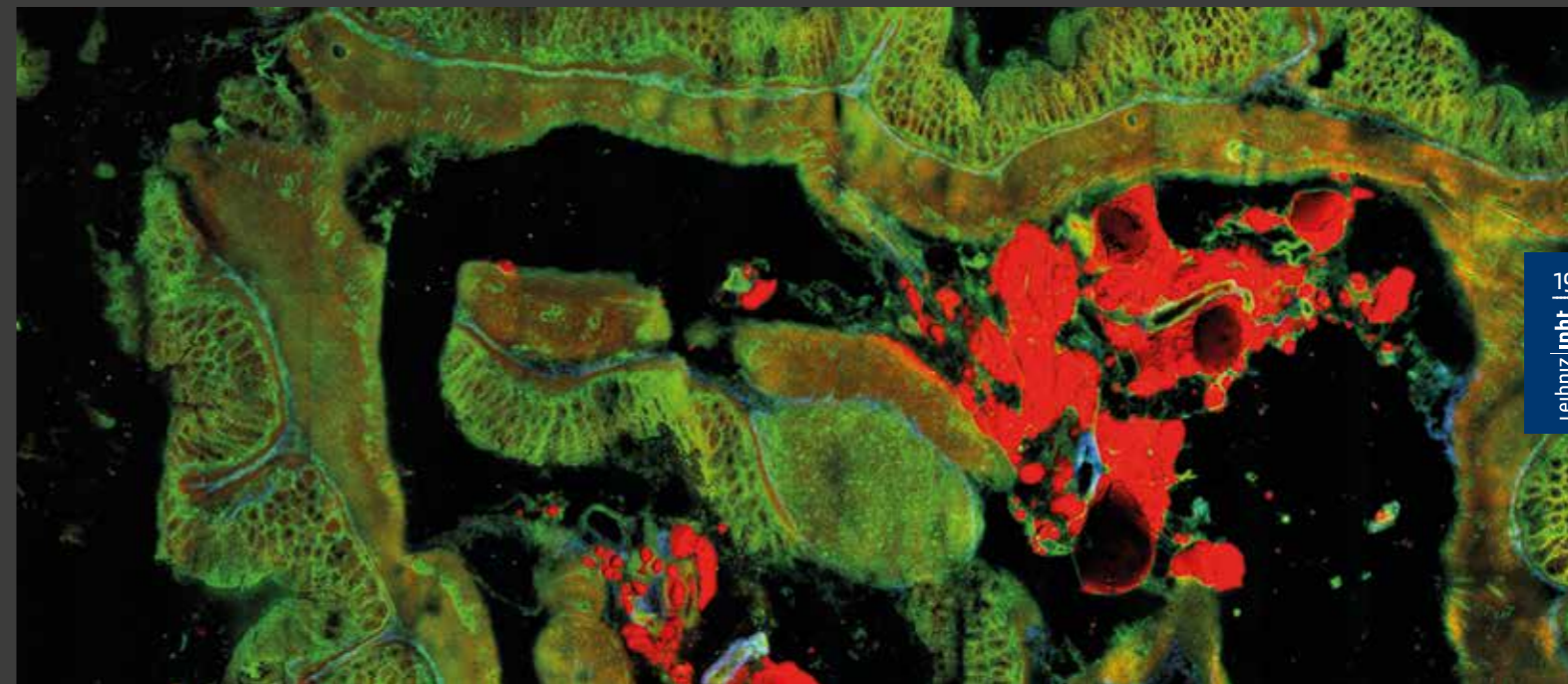
Entscheidend für Chirurgen und für die Prognose der Patienten ist die komplette Tumorentfernung (Resektion). Deswegen entnehmen Mediziner während der Operation Schnellschnitt-Biopsien, die ein Pathologe noch während des Eingriffs als Gefrierschnitt anfärbt und unter dem Mikroskop auf Tumorzellen untersucht. Findet sich in der Schnellschnittdiagnostik kein Nachweis für Tumorgewebe, wird die Operation beendet. Andernfalls müssen Ärzte die betroffene Region nachoperieren, erneut Schnellschnitt-Biopsien nehmen und die Prozedur wiederholen. Die Tumorrandungsbefragung mittels Schnellschnittdiagnostik dauert je nach Probe 20 bis 30 Minuten und weist eine nicht zu vernachlässigende Fehlerquote auf. Daher sind Mediziner für die endgültige Beurteilung auf die histopathologische Untersuchung eingebetteter und angefärbter Schnitte von Proben aus dem Tumor und vom Resektionsrand angewiesen. Dieses Vorgehen ist zeitaufwendig und erfordert im Falle eines nicht-tumorfreen Resektionsrands eine erneute Operation. Aufgrund der eintretenden Wundheilung lassen sich hierbei die Resektionsränder schlecht beurteilen, was die Prognose des Patienten verschlechtert und zusätzliche Kosten verursacht.

Optische Gewebediagnostik mittels Multikontrast-Bildgebung

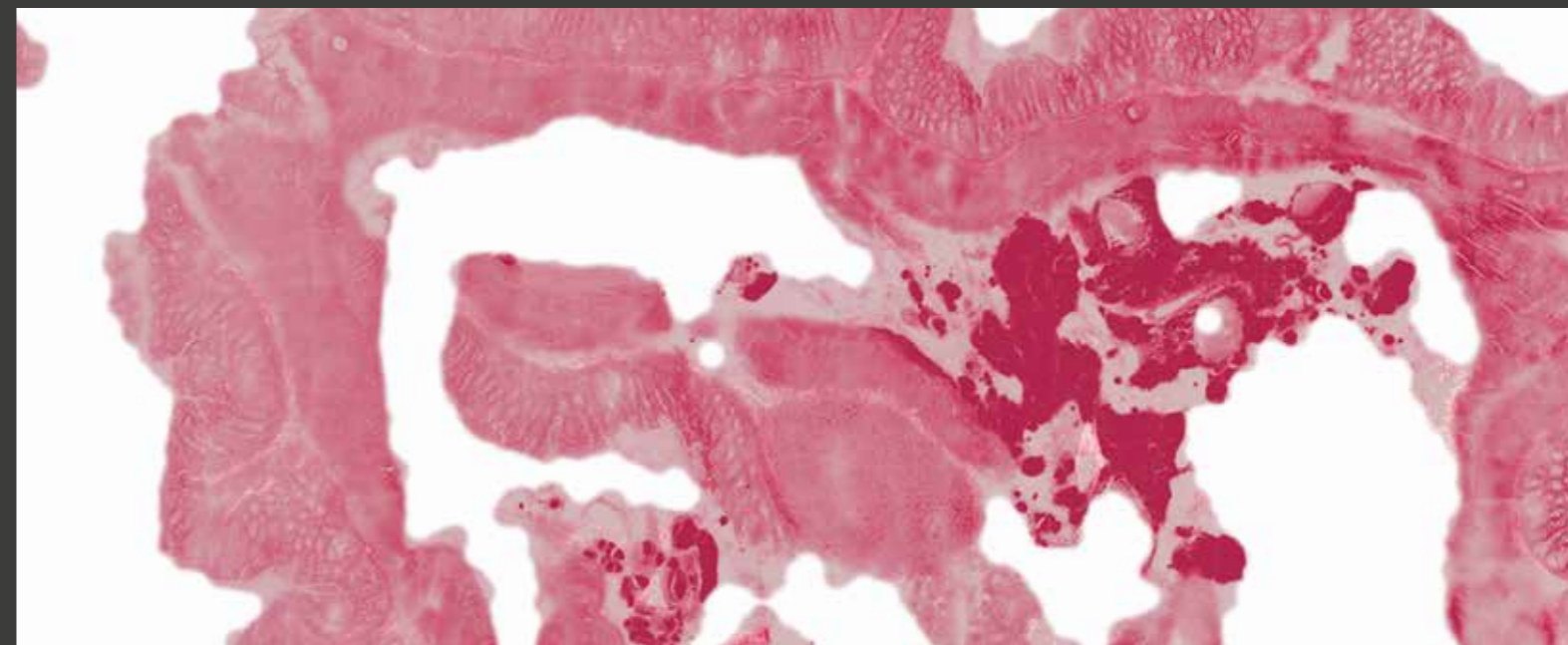
Mit lichtbasierten Bildgebungsmethoden lassen sich biologische Proben, also Gewebe und Zellen, schnell und berührungslos untersuchen. Die Wechselwirkung von intensivem Laserlicht mit Gewebe erzeugt gewebetypische Antworten, die Aufschluss über dessen molekulare Zusammensetzung und Morphologie geben. Am Leibniz-IPHT erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler hauptsächlich färbefreie Methoden mit dem Schwerpunkt auf linearer und nicht-linearer Raman-Spektroskopie, d.h. Raman-Mikrospektroskopie, stimulierte Raman-Streuung (SRS), kohärente Anti-Stokes-Raman-Streuung (CARS). Daneben kommen noch weitere Kontrastmechanismen wie die Frequenzverdopplung (SHG) und Zwei-Photonen-angeregte Autofluoreszenz (TPEF) oder die Fluoreszenz-Lebensdauer-Mikroskopie (FLIM) zum Einsatz. Alle diese bildgebenden Verfahren liefern unterschiedliche Informationen über die untersuchten Gewebe. Die gezielte Kombination mehrerer Modalitäten zu einem Multikontrast-Bildgebungsansatz liefert umfassende, sich ergänzende Bilddaten.



Hämatoxylin-Eosin-Färbung (HE-Färbung) eines Gewebeschnittes aus dem Darm einer Maus



Aus Einzelbildern zusammengesetzte multimodale Aufnahme des gleichen Gewebeschnittes (Rot: CARS, Grün: TPEF, Blau: SHG)



Die aus der multimodalen Bildgebung abgeleitete Pseudo-HE-Färbung des gleichen Gewebeschnittes.

Leuchtende Zukunft

Silicium-Nanopartikel für die Medizin

» Das Leibniz-IPHT erforscht Nanopartikel aus dem Halbleitermaterial Silicium für die multimodale Bildgebung in Zellen sowie als Träger für die gezielte Freisetzung von Medikamenten. Dank neuer preiswerter Herstellungstechnologien könnten die Partikel zukünftig für die biomedizinische Diagnostik und Therapie oder als neues Mittel gegen antibiotikaresistente Bakterien eingesetzt werden.

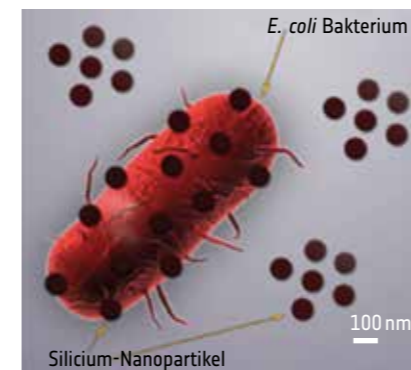
Das Halbmetall Silicium ist Grundlage eines globalen Industriezweigs, der Halbleiterindustrie. Als Bestandteil von Computerchips und Solarzellen begegnen wir dem Element täglich. Für biomedizinische Anwendungen ist das Element bislang wenig erforscht. In der Arbeitsgruppe Halbleiternanomaterialien untersucht Dr. Vladimir Sivakov die Herstellung, Eigenschaften und Anwendung poröser Silicium-Nanopartikel für die Diagnostik und Therapie. Das auffälligste Merkmal der Partikel ist ihre intensive Photolumineszenz: sie leuchten nach Anregung mit UV-Licht. Aufgrund ihrer hohen Porosität bilden die Partikel Nano-Container, die sich bis zum 20-fachen ihrer eigenen Masse mit Wirkstoffen beladen lassen – beispielsweise mit Chemotherapeutika zur Bekämpfung von Krebszellen. Umhüllt mit biokompatiblen Polymeren wie Dextran dringen sie als Vehikel leicht in Zellen ein und weisen dort geringe akute Toxizität auf. Nach einiger Zeit zersetzen sich die Nanostrukturen in den Zellen zu harmlosen Substanzen. Diese Eigenschaften machen die Silicium-Nanomaterialien zu interessanten Forschungsobjekten für die Krebstherapie – ein Kunstwort aus Therapie und Diagnostik.

„Unser Ziel ist es, theranostische Nanopartikel herzustellen mit denen wir Tumorzellen identifizieren und gleichzeitig gezielt zerstören können,“ so Sivakov. Für Letzteres existieren verschiedene Methoden, darunter die bereits klinisch eingesetzte photodynamische Therapie. Hierbei werden zelltoxische Wirkstoffe mit Hilfe von Licht selektiv im Tumor oder in den krankhaften Gewebeeränderungen freigesetzt und diese zerstört. Ein Nachteil des Verfahrens ist die geringe Eindringtiefe des Lichts im menschlichen Körper, weshalb es für tiefliegende Tumore wenig geeignet ist. Vladimir Sivakov untersucht alternative Methoden zur Medikamentenfreisetzung. Im Gegensatz zu Licht, dringt Ultraschall in beinahe alle Regionen des menschlichen Körpers vor. Mit Hilfe von Ultraschallwellen und Silicium-Nanopartikeln ist es dem Chemiker gelungen das Wachstum von Bakterien der Gattung *Escherichia coli* vollständig zu hemmen. Dank der Beschichtung mit Dextran haften die Partikel an der Oberfläche der Bakterien. An diesen Stellen erzeugen die hochfrequenten Schallwellen punktuell sehr große Hitze (Hyperthermie), die mikroskopisch kleine Hohlräume (Kavitäten) entstehen lässt und damit die Zellmembran des



Abhängig von Größe und Oberflächenbehandlung leuchten die Partikel in Suspension grün-blau oder rot. Auch im festen Zustand zeigt Silicium rote Photolumineszenz.

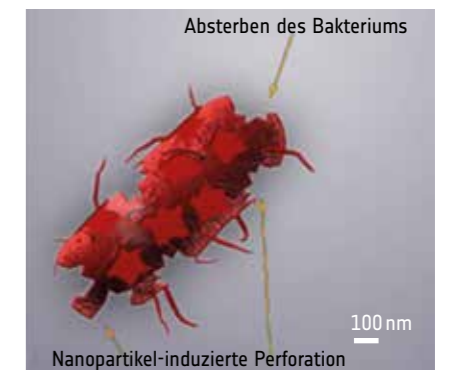
Bakteriums zerstört. „Mit Blick auf zunehmende Antibiotikaresistenzen, sind solche physikalischen Methoden der Erregerbekämpfung von Vorteil, da wir damit auch multi-resistente Bakterien, gegen die es kein Antibiotikum gibt, abtöten können,“ erklärt Sivakov. Im Rahmen des von ihm ins Leben gerufenen transnationalen Forschernetzwerks NanoPhoto wollen Experten aus Materialwissenschaften, Biologie und Medizin die Ergebnisse auf die Krebstherapie übertragen. Um den interdisziplinären Austausch weiter voranzutreiben, organisiert Sivakov die jährlich stattfindende Konferenz „Current Trends in Cancer Theranostics“ (CTCT).



Mit Dextran umhüllte Silicium-Nanopartikel haften an der Oberfläche von Bakterienzellen.



Durch Ultraschall entstehen an den Nanopartikeln Kavitäten, die die Zellmembran teilweise zerstören.



Die Löcher in der Zellmembran lassen die Bakterienzelle absterben.

Bilder: Langmuir, 2017, 33, 2603–2609. © 2017 American Chemical Society



Labor der Arbeitsgruppe „Jenaer Biochip-Initiative“

Innovation durch Kooperation

Im Projekt EXASENS erforschen Partner von „Leibniz Gesundheitstechnologien“ Lösungen für eine modulare Point-of-Care-Diagnostik

» Partner des Forschungsverbunds „Leibniz Gesundheitstechnologien“ erforschen gemeinsam im Projekt EXASENS eine modulare Point-of-Care-(POC)-Diagnostik zur Vorhersage und Diagnose von chronisch-entzündlichen Atemwegserkrankungen (COPD). Ziel der disziplinübergreifenden Kooperation: Eine rasche und individualisierte Behandlung bei akuten Verschlimmerungen von Asthma und COPD und damit eine wesentliche Verbesserung der Lebensqualität. Das Leibniz-IPHT koordiniert das Projekt und bringt seine Erfahrung aus den Bereichen Spektroskopie, POC-Diagnostik, Mikro- und Nanotechnologie und Systemintegration ein.

Zehn Prozent der Deutschen leiden an den chronischen Atemwegserkrankungen Asthma und COPD. Akute, anfallartige Verschlimmerungen (Exazerbationen) sind besonders kritisch für Patienten, da sie zu lebensbedrohlichen Komplikationen führen können. Zudem entstehen durch Fehleinweisungen wegen Exazerbationsverdacht hohe Mehrkosten für das Gesundheitswesen. Ein frühes Eingreifen reduziert die Notwendigkeit intensivmedizinischer Maßnahmen und verbessert die Prognose für die Erkrankten. Dazu sind Ärzte auf eine exakte Überwachung des Krankheitszustandes und eine frühzeitige Diagnose angewiesen.

EXASENS, das bislang größte Projekt von Leibniz Gesundheitstechnologien, widmet sich diesem Problem:

Neun Leibniz-Institute des Forschungsverbunds arbeiten gemeinsam an einem Vor-Ort-Diagnostik-System zur frühzeitigen Vorhersage von akuten Verschlimmerungen der Krankheiten. Eine frühe Diagnose sich anbahnender Exazerbationen würde die Lebensqualität der Patienten entscheidend verbessern und für eine optimale Behandlung sorgen. Herkömmliche Lungenfunktionstests und subjektive Einschätzungen erfahrener Ärzte können das nicht oder nur teilweise leisten. Die im Projekt EXASENS erforschte Sensorplattform soll diese diagnostische Lücke schließen und Exazerbationen zukünftig durch modular einsetzbare POC-Diagnosesysteme vorhersagen.

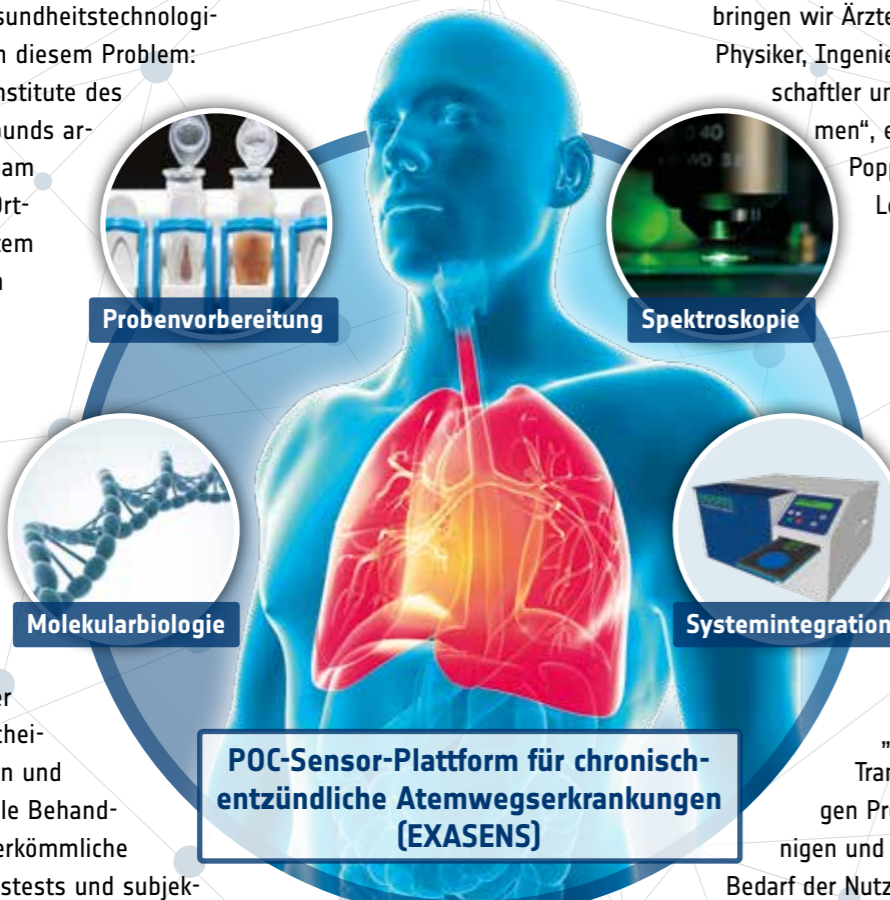
„Die Besonderheit des Projekts liegt in der interdisziplinären Zusammenarbeit von Instituten aus unterschiedlichen Sektionen der Leibniz-Gemeinschaft. Dies versetzt uns gemeinsam mit Partnern aus der Industrie in die Lage, ein Thema entlang der Innovationskette von der Grundlagenforschung bis hin zur Vermarktung bearbeiten zu können“, so Dr. Karina Weber, die das Vorhaben wissenschaftlich koordiniert. Während naturwissenschaftlich ausgerichtete Leibniz-Institute POC-Assays auf Basis optoelektronischer und photonischer Technologien erforschen, ergänzen die lebenswissenschaftlichen Institute dies durch Methoden zur molekularbiologischen Detektion und zur Probenvorbereitung.

pletiert wird der Forschungsansatz durch eine begleitende sozialwissenschaftliche Untersuchung der sozioökonomischen Effekte der neuen POC-Diagnostik. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Basis für integrierte Analysensysteme zur Durchführung erster Studien und Applikationstests.

Vielfalt als Stärke nutzen: Disziplinübergreifende Forschung in den Kompetenzfeldern des Verbundes

„In den Gesundheitstechnologien ist eine effiziente disziplinübergreifende Kollaboration unumgänglich. Deshalb bringen wir Ärzte, Biologen, Chemiker, Physiker, Ingenieure, Sozialwissenschaftler und Ökonomen zusammen“, erläutert Prof. Jürgen Popp, Sprecher des Leibniz-Forschungsverbundes. Dieses umfassende, kollaborative Konzept sowie die Quervernetzung mit Krankenkassen, Politik und Ärztenverbänden sind laut Popp ein wesentlicher Bestandteil der Strategie des Forschungsverbundes: „Unser Ziel ist es, die Translation bis zu fertigen Produkten zu beschleunigen und konsequent am Bedarf der Nutzer auszurichten. Bei medizinischen Lösungen ist es entscheidend, dass sie von Ärzten und Patienten gleichermaßen akzeptiert und von Kassen bezahlt werden.“

Die Vielfalt des Verbundes spiegelt sich in fünf Kompetenzfeldern wieder: Point-of-Care-Technologien, Bildge-



Das Leibniz-IPHT bringt dabei seine Stärken in den Bereichen Probenvorbereitung, Spektroskopie, Mikro- und Nanotechnologie sowie Systemintegration ein, um alle Technologien und Methoden in einer modularen, chipbasierten Kartusche zu vereinen. Kom-



Arbeit an der Schnittstelle von Biologie, Mikroelektronik und Spektroskopie

bende Methoden, Biomarker, Plasmamedizin und Bioaktive Grenzflächen. In diesen Feldern bringt der Verbund gezielt Mitgliedsinstitute zusammen, die sich in ihrem Forschungsprofil ergänzen. Eine gemeinsame Sprache zu finden und den Blick über den Tellerrand zu wagen, ist ein zentrales Anliegen. „Nicht selten erfährt man im intensiven Austausch in einem Themenworkshop, dass ein Kollege bereits eine Schlüsseltechnologie hat, die in einen Lösungsansatz integriert werden kann“, erklärt Jürgen Popp.

Das Leibniz-IPHT bringt sich maßgeblich in den beiden Kompetenzfeldern „Point-of-Care-Technologien“ und „Bildgebende Methoden“ ein. In Projekten des Forschungsverbundes profitieren die Leibniz-IPHT-Forscher zum Beispiel von den Kompetenzen der Lebenswissenschaftler am Lun-

genforschungszentrum in Borstel und dem Hans-Knöll Institut, oder nutzen Technologien der Laser-Experten am Ferdinand-Braun-Institut in Berlin und Mikroelektronik-Entwicklern am Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik (Innovations for High Performance Microelectronics) in Frankfurt an der Oder. Mit dieser erfolgreichen fachübergreifenden Zusammenarbeit nimmt das Leibniz-IPHT innerhalb der Leibniz-Gemeinschaft eine führende Rolle in der Erforschung innovativer optischer Gesundheitstechnologien ein.

In Zukunft sollen für den Forschungsverbund weitere Projekte hinzukommen, die auf eine rasche Umsetzung neuer Lösungen abzielen. Damit Anwendungen den gesetzlichen Vorschriften entsprechen, müssen Fragen der Zulassung von Anfang an mit in den Forschungsprozess einbezogen

werden. Der Verbund organisiert daher für seine Mitglieder Weiterbildungen mit Experten für Zulassungsrecht.

Zudem liegt künftig im Leibniz-Forschungsverbund ein stärkerer Fokus auf die Digitalisierung in der Medizin. An Forschungsinstituten und Kliniken fallen zunehmend größere Mengen Daten an, die vielen Patienten helfen könnten. Den Engpass bildet heute oft die Software zur Datenauswertung. Hier sind schnellere, effizientere und exaktere Algorithmen nötig, um Diagnose- und Therapieverfahren in die Arztpraxis zu bringen. Darüber hinaus müssten laut Popp zeitgemäße gesetzliche Regelungen für den Umgang mit Patientendaten geschaffen werden: „Deshalb suchen wir mit dem Leibniz-Forschungsverbund zum Thema Datenschutz gezielt das Gespräch mit der Politik.“



Um die Umsetzung von Forschungsergebnissen in marktaugliche Lösungen zu beschleunigen, werden Ingenieurinnen und Ingenieure frühzeitig in Forschungsprojekte eingebunden.

Brücken bauen

Systemtechnologie ebnet den Weg für Innovationen

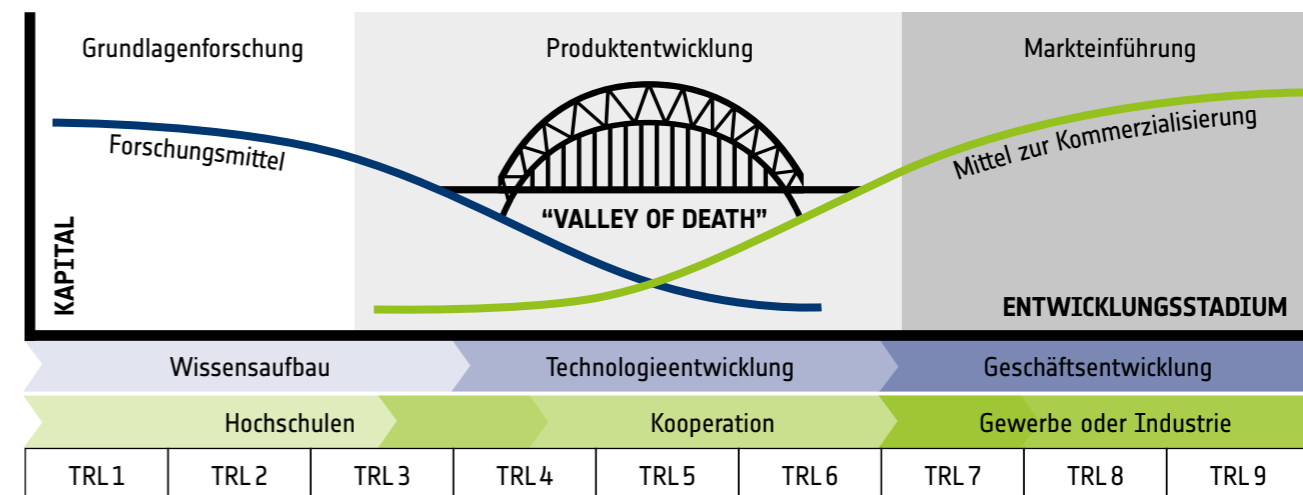
» Die Stärkung der Systemtechnologie ist eine der Maßnahmen, die das Leibniz-IPHT ergriffen hat, um den Innovationstransfer zu befördern und dadurch das „Valley of Death“ zu überwinden. Durch Systemintegration entstehen Technologien mit hohem Entwicklungsstand, welche die bisher relativ lange Zeit für die Umsetzung von Forschungsergebnissen in marktfähige Produkte verkürzen. Zugleich bilden hochentwickelte Komponenten und Verfahren die technologische Grundlage, um neue Lösungsansätze zu erforschen.

Optische Gesundheitstechnologien haben das Potential in der Diagnostik und Therapie gewinnbringend eingesetzt zu werden und so drängende medizinische Probleme zu lösen. Damit die am Leibniz-IPHT erforschten photonischen Technologien breite Anwendung im realen Umfeld finden, benötigen sie einen hohen technologischen Entwicklungsstand,

also Technologiereifegrad (Technology Readiness Level = TRL). Große und komplexe Laboraufbauten, die nur von Spezialisten zu bedienen sind, wären für den Einsatz in der klinischen Routineanalytik ungeeignet. Erst durch die Erweiterung der vorhandenen Enabling-Technologien durch die Systemtechnologie, können am Institut Komponenten und Instrumente

gefertigt werden, die die gewünschte Funktion des späteren Produktes demonstrieren.

Das Institut hat bereits mehrere integrierte Systeme mit hohem TRL realisiert und getestet. Etwa die thermoelektrischen Sensoren, die 2004 mit der ESA-Mission Rosetta ins All geschickt wurden. Weitere Beispiele



le sind: die Terahertz-Kamera, der Bioparticle-Explorer, PAUL (ein Photonisches Analytik Universal Labor) und MediCARS.

Um die Translation von Forschungsergebnissen in marktfähige Produkte weiter voranzutreiben, hat das Leibniz-IPHT die Systemtechnologie fest am Institut verankert. Mit der Schaffung der Arbeitsgruppe „Systemintegration“ im Jahr 2016 gibt es die Möglichkeit, nicht nur punktuell technologische Lösungen als Funktionsmuster umzusetzen, „sondern allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern eine Expertise zugänglich zu machen, die die Umsetzung von technischen Lösungen in funktionierende Versuchsmodelle von Beginn an begleitet“, so Peter Horbert, der die Arbeitsgruppe leitet. In einem aktuellen Forschungsprojekt entwickelt seine Gruppe gemeinsam mit dem Team um Prof. Ute Neugebauer das Labormuster eines mikrofluidischen Chips, mit dem man Antibiotikaresistenzen von Bakterien innerhalb von nur drei Stunden feststellen kann – ein Bruchteil der Zeit, die übliche Methoden benötigen. Vier Exemplare des Chips befinden sich momentan in der Testphase im klinischen Umfeld (S. 10). Im Forschungsverbund EXASENS wird ein weiteres integriertes Kartuschen-

system zur Vorhersage und Diagnose von chronisch-entzündlichen Atemwegserkrankungen erarbeitet (S. 22).

Zudem soll zusammen mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena eine Stiftungsprofessur „Optisch-Molekulare Diagnostik und Systemtechnologie“ unter Leitung eines ausgewiesenen Wissenschaftlers mit langjähriger Industrieerfahrung eingerichtet werden. „Dadurch verstetigt das Institut seine Systemkompetenz und leistet einen wichtigen Beitrag, um die Lücke zwischen erkenntnisorientierter Grundlagenforschung und konkreter Produktentwicklung zu schließen“, so Professor Popp.

Die Stiftungsprofessur zeichnet sich vor allem durch einen interdisziplinären Ansatz aus, der Grundlage für die Erforschung aktueller Fragestellungen und Entwicklung passgenauer Lösungen ist. Die Professur soll optisch-analytische Systemlösungen – basierend auf photonischen Ansätzen – für materialwissenschaftliche sowie lebenswissenschaftliche Fragestellungen und die Umweltanalytik liefern. „Mit Schaffung der Stiftungsprofessur setzt das Leibniz-IPHT seinen Leitgedanken „From Ideas to Instruments“ verstärkt in die Praxis um“, so Prof. Jürgen Popp.

Technologiereifegrad

TRL ist eine Skala zur Bewertung des Entwicklungsstands von neuen Technologien. Die Skala reicht von TRL 1 bis TRL 9 und wurde Ende der 1980er-Jahre ursprünglich von der NASA für die Einstufung von Raumfahrttechnologien entwickelt.

TRL 1: Beobachtung und Beschreibung des Funktionsprinzips

TRL 2: Beschreibung der Anwendung einer Technologie

TRL 3: Nachweis der Funktionstüchtigkeit einer Technologie

TRL 4: Versuchsaufbau im Labor

TRL 5: Versuchsaufbau in Einsatzumgebung

TRL 6: Prototyp in Einsatzumgebung

TRL 7: Prototyp im Einsatz

TRL 8: Qualifiziertes System mit Nachweis der Funktionstüchtigkeit im Einsatzbereich

TRL 9: Qualifiziertes System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes

Mehr als die Summe aller Teile

Internationale Kooperationen eröffnen Synergien

» Herausforderungen in den Bereichen Gesundheit, Medizin, Umwelt und Sicherheit sind von globaler Bedeutung. Lösungen erfordern eine länderübergreifende Zusammenarbeit. Durch strategische Kooperationen ist das Leibniz-IPHT in der Lage die Kompetenzen internationaler Partner zu erschliessen. Der Austausch dient der Weiterentwicklung des eigenen Programmportfolios und stärkt die internationale Sichtbarkeit des Institutes.

Das Leibniz-IPHT kooperiert mit Partnern aus 40 Ländern. Eine enge Zusammenarbeit verbindet das Institut zum Beispiel mit dem Centre for Nanoscale BioPhotonics aus Adelaide, Melbourne und Sydney in Australien. Beide Einrichtungen können auf einen langjährigen wissenschaftlichen Austausch im Bereich der Biophotonik zurückblicken. Seit März 2017 gibt es zudem eine enge Kooperation mit dem Institut Teknologi Sepuluh Nopember im indonesischen Surabaya. Wissenschaftler-Teams beider Institute arbeiten gemeinsam an der Entwicklung neuer farbstoffsensibilisierter Solarzellen. Die vertraglich geregelte Zusammenarbeit beinhaltet zudem ein bilaterales Austauschprogramm.

Ausländische Forscherinnen und Forschern schätzen das Leibniz-IPHT als attraktiven Standort für Gastaufenthalte. Seit 2014 nutzten über 100 Gastwissenschaftlerinnen und Gastwissenschaftler die hervorragende technologische Infrastruktur des Institutes. Dabei profitiert das Institut unter anderem vom Gastprofessorenprogramm des Abbe Center of Photonics.

Im Rahmen des Dragon Gate Programms sollen in Zukunft verstärkt taiwanische Gäste die Möglichkeit bekommen, dass Leibniz-IPHT zu besuchen. Das Ministerium für Wissenschaft und Technologie in Taiwan fördert mit dem Programm

Forschungsaufenthalte von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern an Spitzeneinrichtungen in der ganzen Welt.

Auf europäischer Ebene beteiligt sich das Leibniz-IPHT an fünf COST-Actions. Die von der Europäischen Union mit einer Laufzeit von vier Jahren geförderten Netzwerke zielen darauf ab, nationale Forschungsarbeiten thematisch zu vernetzen und die Zusammenarbeit der beteiligten Partner strukturell zu unterstützen. "In der von uns koordinierten COST-Action „Raman4Clinics“ arbeiten mehr als 150 Partner aus 27 europäischen Ländern an technologischen Konzepten für die Anwendung der Raman-Spektroskopie im klinischen Alltag", berichtet Gabriele Hamm, die das Projekt administrativ betreut.

Seit mehreren Jahrzehnten pflegt das Leibniz-IPHT Kooperationen mit Forschungseinrichtungen in Nordamerika. Besonders enger Kontakt besteht mit Forschergruppen an der UC Davis in Kalifornien. Eines der gemeinsamen Ziele ist die Erforschung und Etablierung neuer intraoperativer Diagnostiktechnologien, welche zukünftig die labelfreie Detektion von Tumoren

ermöglichen sollen. In den kommenden drei Jahren werden die transatlantischen Forschungsaktivitäten im Rahmen der „Jena-Davis-Alliance of Excellence in Biophotonics“ (JEDIS) weiter

gestärkt und durch ein nachhaltiges Austauschprogramm sowie gemeinsame Sommer Schulen und Fachkolloquien ergänzt.

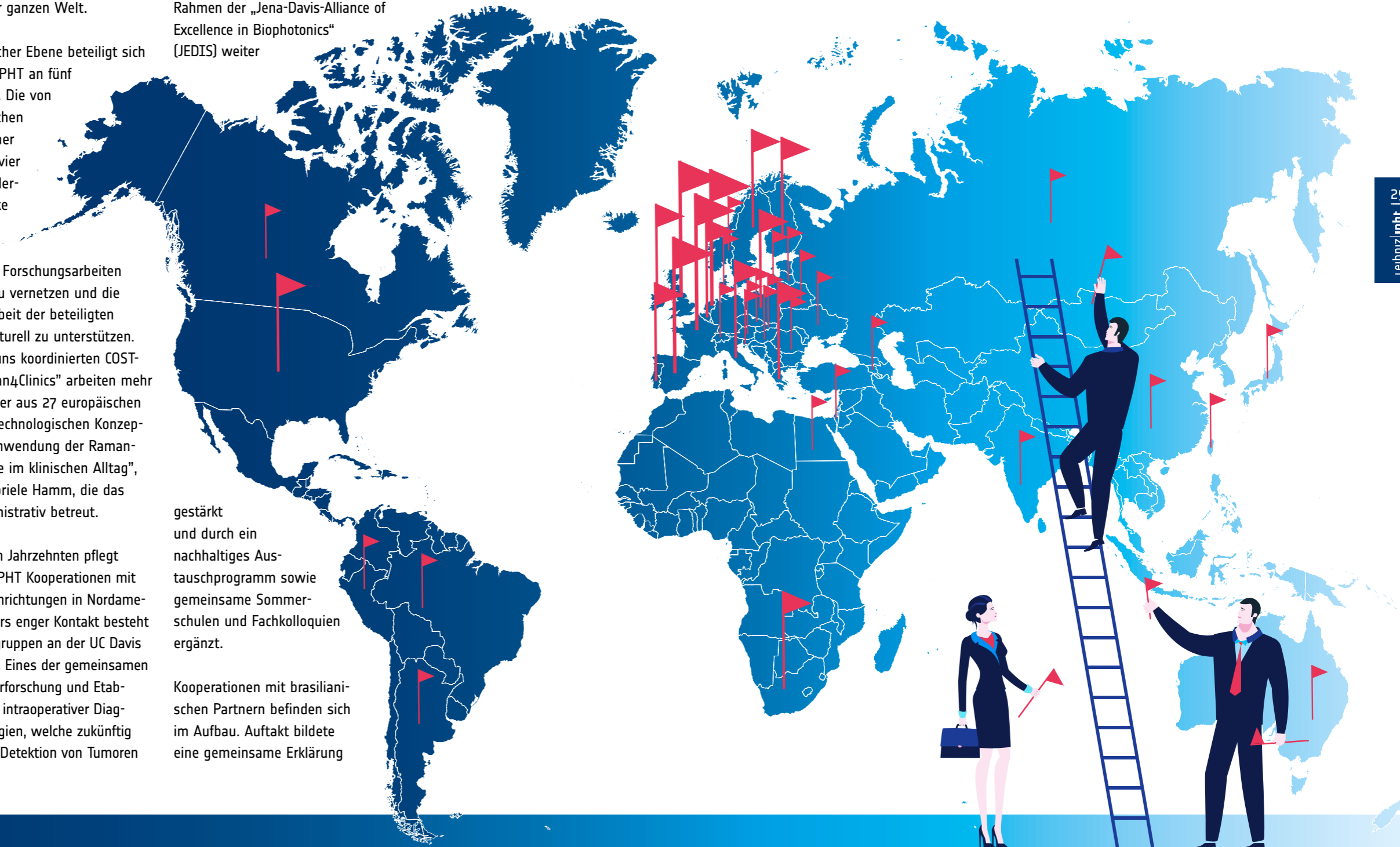
Kooperationen mit brasilianischen Partnern befinden sich im Aufbau. Auftakt bildete eine gemeinsame Erklärung

deutscher und brasilianischer Partner während der International Conference on Raman Spectroscopy in Fortaleza, Brasilien im August 2016. Im Folgejahr veranstaltete das Leibniz-IPHT eine Educational Roadshow in Rio de Janeiro und São Paulo zum Themenschwerpunkt „Photonische Gesundheitstechnologien“. Konkrete Ziele waren die Initiierung eines Austauschprogramms für Nachwuchswis-

senschaftlerinnen und -wissenschaftler sowie das Ausloten von Ideen für gemeinsame Projektanträge.

Auch virtuell rückt die weltweite Biophotonik-Community weiter zusammen: Seit Ende April 2017 präsentieren sich internationale Forschergruppen auf dem Online-Portal Biophotonics World. Das Leibniz-IPHT als Betreiber der Plattform hat die Webseite

initiiert, konzipiert und verwirklicht. Biophotonics World bietet Zugang zu Nachrichten und Beiträgen über neueste Entwicklungen in der akademischen und industriellen Forschung. Das Leibniz-IPHT nutzt Biophotonics World, um eigene Forschungsthemen einem internationalen Fachpublikum vorzustellen und zugleich neue Kooperationspotenziale systematisch zu ermitteln und zu erschließen.



Nachwuchsförderung

Exzellente, unabhängige und interdisziplinäre

» Die Förderung und Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses ist strukturelles Kernanliegen und zentrales Ziel des Leibniz-IPHT. Hauptziel ist es, jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern frühzeitig die Gelegenheit zu geben, selbständig, unabhängig und interdisziplinär zu forschen. Neben einer übergreifenden, strukturierten Nachwuchsförderung durch die Leibniz-Gemeinschaft hat das Leibniz-IPHT individuelle Fördermöglichkeiten etabliert.

Das zentrale Format der IPHT-eigenen Nachwuchsförderung ist das seit 2008 bestehende Förderwerkzeug der unabhängigen Nachwuchsgruppen. Sie ermöglichen herausragenden, jungen, promovierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, noch vor dem Ruf auf eine eigene Professur, ein eigenständiges Arbeitsgebiet zu etablieren. Nach dem Auslaufen einer auf sechs Jahre angelegten Nachwuchsgruppe soll deren Leiterin bzw. Leiter in der Lage sein, sich kompetitiv auf Professuren zu bewerben. Alternativ kann eine Nachwuchsgruppe als Forscher- oder Arbeitsgruppe am Leibniz-IPHT verstetigt werden. Im kommenden Jahr sollen zwei neue Nachwuchsgruppen aufgebaut werden.

Für Doktorandinnen und Doktoranden hat das Leibniz-IPHT eine strukturelle Ausbildung etabliert. Ein internes Doktorandenprogramm verfolgt dabei zwei Ziele: Zum einen den Doktorandinnen und Doktoranden die technologischen Kompetenzen des Leibniz-IPHT zu vermitteln und zum anderen den Fortschritt der Promotion zu begleiten. Darüber hinaus unterstützt das Leibniz-IPHT seine Doktorandinnen und Doktoranden bei ihrer Vernetzung mit der wissenschaftlichen Community – etwa durch Forschungsaufenthalte, Forschungsreisen oder durch die Teilnahme an internationalen Forschungsprojekten.

Die Zusammenarbeit mit anderen Fachgebieten spielt am Institut eine besondere Rolle. Durch den interdisziplinären Forschungsfokus des Institutes und die enge Vernetzung mit Industriepartnern erhalten Promovierende einen Blick über den Tellerrand hinaus.

Frühzeitige Nachwuchsarbeit

Das Leibniz-IPHT beginnt mit seinem Engagement für den Nachwuchs schon im schulischen Bereich, um mit zukünftigen Nachwuchswissenschaftlern ins Gespräch zu kommen und auf die Forschungsfelder und Arbeitsmöglichkeiten des Leibniz-IPHT aufmerksam zu machen.

Darüber hinaus leistet das Institut mit seiner Teilnahme an Veranstaltungen wie der Langen Nacht der Wissenschaft oder dem Girls' Day einen wichtigen Beitrag, um junge Menschen für die MINT-Fächer Physik und Chemie zu begeistern. Besonders begabte Schülerinnen und Schüler aus Thüringen lädt das Leibniz-IPHT zusammen mit der Universität Jena einmal im Jahr zur Sommerschule ein.



„Ich werde als junge Wissenschaftlerin ernst genommen.“

Interview mit Dr. Marie Richard-Lacroix

Nach Ihrer Promotion haben Sie sich in Kanada für ein Postdoc-Stipendium beworben. Warum fiel Ihre Wahl auf Jena?

Zunächst fiel meine Wahl auf Europa. Weil Deutschland einen sehr guten Ruf im Bereich Spektroskopie hat, habe ich hier nach geeigneten Instituten für mein Forschungsgebiet TERS geschaut. Jena und das Leibniz-IPHT stachen besonders hervor, denn hier forscht Volker Deckert – ein international anerkannter Wissenschaftler im Bereich TERS.

Wovon haben Sie am Leibniz-IPHT bislang profitiert?

Da gibt es mehrere Dinge. Zum einen vom interdisziplinären Forschungsfokus und der guten Vernetzung des Instituts. Dies ermöglicht es mir, über den Tellerrand hinauszuschauen, meine Forschungsergebnisse auf Konferenzen vorzustellen und mich mit der wissenschaftlichen Community zu vernetzen. Ein weiterer Vorteil ist die ausgezeichnete Laborausstattung. Ich werde als junge Wissenschaftlerin ernst genommen und dabei unterstützt, meine Ziele zu erreichen. Als Assistentin in der Lehre betreue ich Studenten und Doktoranden. Denn für eine Karriere in der Wissenschaft reicht es nicht aus, wenn man nur gute Forschung betreibt. Man muss über viele Qualitäten verfügen.

Wissen Sie schon, wie es für Sie nach dem Stipendium weitergeht?

Konkret weiß ich das noch nicht, aber ich möchte mich auf jeden Fall gerne weiterentwickeln und eine akademische Laufbahn einschlagen. In Kanada habe ich Vorlesungen gehalten. Das würde ich gerne wieder machen. Wohin genau die Reise geht, wird sich in den kommenden Monaten zeigen.

Zur Person:

Seit 2016: Postdoc-Stipendiatin – Leibniz-IPHT und Friedrich-Schiller-Universität Jena
2011-2016: Promotion in Chemie – Universität Montreal / Kanada
2008-2011: Bachelor of Science in Chemie – Universität Montreal / Kanada
Forschungsschwerpunkt: Tip-enhanced Raman Spectroscopy



Prof. Heidemarie Schmidt, Prof. Christian Eggeling und Prof. Tomáš Čížmár sind neue Forschungsabteilungsleiter.

Willkommen im Team

Kompetente Verstärkung für die Forschungsarbeit am Institut

» Das Leibniz-IPHT hat sich personell erneuert und verstärkt. Mit drei Neuberufungen ist es gelungen international hochrangige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nach Jena zu holen, die die Forschungsschwerpunkte Biophotonik, Faseroptik und Quantendetektion am Institut weiter profilieren. Heidemarie Schmidt leitet als Nachfolgerin von Hans-Georg Meyer die Abteilung Quantendetektion, Tomáš Čížmár tritt als Abteilungsleiter der Faseroptik in die Fußstapfen von Hartmut Bartelt und Christian Eggeling baut die neue Abteilung Biophysikalische Bildgebung auf.

Heidemarie Schmidt

Heidemarie Schmidt leitet die Abteilung Quantendetektion am Leibniz-IPHT. Seit September 2017 ist sie Professorin für Festkörperphysik mit dem Schwerpunkt Quantendetektion an der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Die Physikerin forscht auf den Gebieten der Quantentechnologie, Biotechnologie und an neuen Materialsystemen für die Nanoelektronik. Am Leibniz-IPHT untersucht sie, auf wenige Nanometer genau, die Verschiebung elektrischer Ladungen in Biomaterialien wie Zellen, Gewebe oder Proteinen, indem sie die Materialien mit Licht einer bestimmten Wellenlänge bestrahlt. Aus dieser Ladungsverschiebung kann sie Aussagen über die biochemischen Eigenschaften der biologischen Spezies ableiten. Die Messungen dienen der Aufklärung grundlegender biologischer Fragestellungen und ermöglichen Rückschlüsse auf mögliche krankhafte Veränderungen beispielsweise von Zellen oder Gewebe.

Christian Eggeling

Christian Eggeling, der bisher an der Universität Oxford in England tätig war, leitet die neue Abteilung „Biophysikalische Bildgebung“. Gemeinsam mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena wurde er im Dezember 2017 zum Professor für hochaufgelöste Mikroskopie berufen. Der Wissenschaftler erforscht Mikroskopiemethoden, die einzigartige Einblicke in den Nanokosmos lebender Zellen und Gewebe erlauben. „Wir kombinieren räumlich extrem hochauflösende Techniken basierend auf Fluoreszenzmikroskopie mit Methoden, die es uns ermöglichen die Bewegung markierter Moleküle in Echtzeit zu verfolgen. Damit können wir einzelne Moleküle, die zum Beispiel Bestandteil von Zellmembranen sind, in der lebenden Zelle räumlich und zeitlich untersuchen. So werden zelluläre Mechanismen auf molekularer Ebene enthüllt, die für bisherige Untersuchungsmethoden zu schnell abliefen,“ beschreibt Eggeling die Vorteile der neuen Bildgebungsverfahren.

Tomáš Čížmár

Tomáš Čížmár, der im Januar 2018 zum Professor für Wellenleiteroptik und Faseroptik an der Friedrich-Schiller-Universität berufen wurde, leitet die Abteilung Faseroptik am Leibniz-IPHT. Seine Forschungsgebiete umfassen die optische Manipulation kleinster Partikel, die Untersuchung von Lichtleitprozessen in optischen Fasern sowie deren Anwendung in haarfeinen endoskopischen Fasersonden für die biomedizinische Bildgebung. Am Leibniz-IPHT erforscht Tomáš Čížmár neue Methoden zur Kontrolle der Lichtleitung in optischen Fasern. „Mittels digitaler Holographie und Computeralgorithmen ist es uns erstmals gelungen, hochaufgelöste Bilder durch eine einzelne, nur ein Zehntel Millimeter dünne, optische Faser zu übertragen. Diese miniaturisierten Fasersonden öffnen ein Fenster, um Prozesse in vorher unerreichen Regionen lebender Organismen zu studieren – eventuell auch irgendwann beim Menschen“, so Tomáš Čížmár über die Zukunft der Technologie. Für sein Forschungsprojekt LIFEGATE erhielt er den anerkannten Consolidator Grant des Europäischen Forschungsrats (ERC) – eine Auszeichnung für exzellente Wissenschaftler.

Heidemarie Schmidt studierte Physik an der Universität Leipzig, wo sie 1999 über Bandstrukturen in ultradünnen Schichten von Halbleitern promoviert wurde. Im Zeitraum von 2003 bis 2007 leitete sie die BMBF-Nachwuchsgruppe „Nano-Spintronik“ und übernahm im Anschluss eine gleichnamige Arbeitsgruppe am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf. Mit einem Heisenberg-Stipendium der Deutschen Forschungsgemeinschaft wechselte Schmidt 2012 an die Technische Universität Chemnitz. Am Chemnitzer Fraunhofer-Institut ENAS betreute sie eine eigene Arbeitsgruppe.

Christian Eggeling forschte am Göttinger Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie auf dem Gebiet der mehrdimensionalen Einzelmolekül-Fluoreszenzspektroskopie. Nach seiner Promotion wechselte der Physiker im Jahr 2000 zunächst in die Wirtschaft. In der Firma Evotec OAI AG arbeitete er an Fluoreszenztechniken für das Hochdurchsatz-Medikamentenscreening, bevor es ihn zurück nach Göttingen zog. In der Gruppe um den Nobelpreisträger Stefan Hell arbeitete er an hochauflösenden Bildgebungsmethoden. 2012 folgte er einem Ruf an die Universität Oxford, wo er als Professor für Molekulare Immunologie das dortige Wolfson Imaging Centre leitete.

Von 2003 bis 2007 arbeitete der Physiker **Tomáš Čížmár** am Institute of Scientific Instruments der Tschechischen Akademie der Wissenschaften und der Masaryk Universität in Brno, wo er 2006 seine Promotion auf dem Gebiet der Wellen- und Partikeloptik abschloss. Anschließend forschte Čížmár in der Gruppe von Kishan Dholakia an der University of St. Andrews, Schottland zum Thema optische Manipulation und biomedizinische Photonik. 2010 wechselte er an die School of Medicine, um dort innovative Konzepte für die holographische Endoskopie zu etablieren. Bevor Čížmár nach Jena kam, war er Dozent an der University of Dundee und der University of St. Andrews und leitete die Forschergruppe „Complex Photonics“ in Dundee.



Prof. Dr. Evgeni Il'ichev vor einem Kryostaten mit dem er Qubits auf nahezu $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ abkühlt

Ausgewählte Auszeichnungen 2017

Dr. Thomas Bocklitz // Auszeichnung des Beutenberg-Campus e.V. als bester Nachwuchswissenschaftler

Dr. Jan Dellith // 2. Posterpreis auf dem Thüringer Werkstofftag 2017 für ein neues Verfahren zur Herstellung von Quarzglaspreformen

Vera Dugandžić // Posterpreis des Confocal Raman Imaging Symposiums für Raman-basierten Nachweis gefährlicher arteriosklerotischer Ablagerungen

Dr. Tino Elsmann // Green Photonics Sonderpreis Thüringen der Stiftung für Technologie, Innovation und Forschung Thüringen (STIFT) für seine herausragenden Arbeiten zur Hochtemperatur-Fasersensorik

Dr. Robert Geitner // Oral Presentation Honorable Mention und 2. Preis des Student Presentation Award der International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy

Prof. Evgeni Il'ichev // Verkin-Preis der Ukrainischen Akademie der Wissenschaften für seine Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Tieftemperaturphysik

Dr. Sandra Kloß // Posterpreis des 3. Münchner Point-of-care Testing Symposium zum Thema „Innovative Partikel- und Chip-basierte Isolierung von Bakterien aus Atemwegsproben zur Vor-Ort-Analytik“

Robert Meyer // Analyst Poster Award der International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy für seine Arbeiten zu neuen experimentellen Methoden der spitzenverstärkten Ramanspektroskopie

Dr. Tobias Meyer // Leibniz-IPHT-Preis 2017 – für besonderes Engagement für die nicht-lineare Spektroskopie

Dr. Christian Mühlig // „Arthur Guenther Best Poster Presentation Award“ der SPIE Tagung LASER Damage zur LID-Absorptionsmesstechnik

Mona Nissen // Auszeichnung für beste Masterarbeit 2017

Margitta Sossna // Leibniz-IPHT-Anerkennung 2017

Dr. Ronny Stolz // ESAS-Exzellenzpreis für Angewandte Supraleitung

Dr. Sonja Unger // Leibniz-IPHT-Anerkennung 2017

Ausgezeichnetes Personal

Prof. Dr. Evgeni Il'ichev

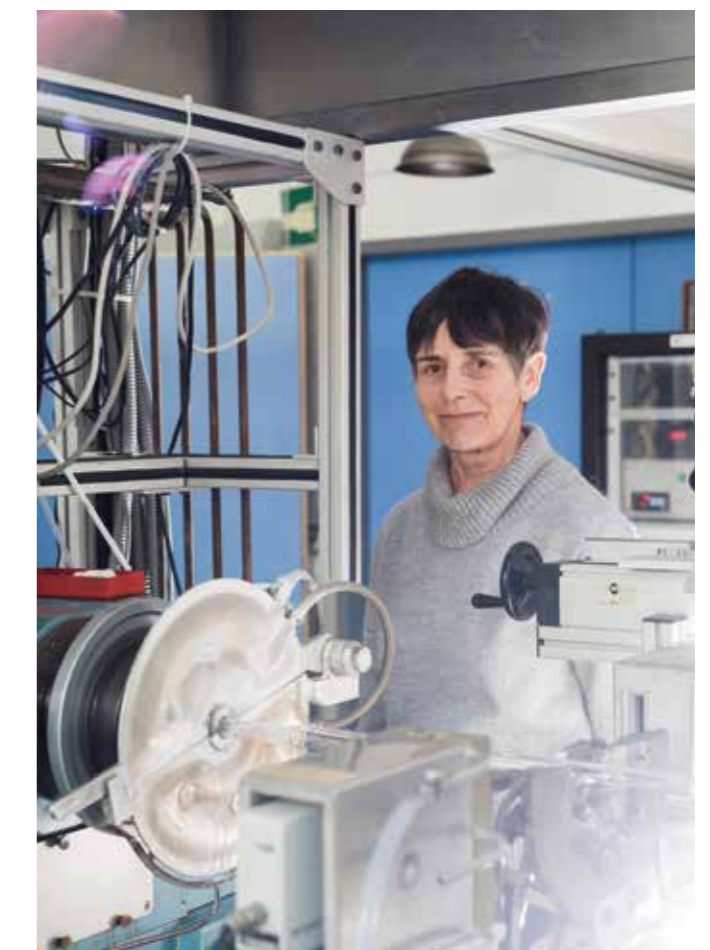
Er erforscht seit mehreren Jahren die theoretischen Grundlagen für die Quantenberechnung und arbeitet an deren praktischer Realisierung mittels supraleitender Quantenbits (Qubits). Für seine herausragenden Forschungsarbeiten ehrte die Ukrainische Akademie der Wissenschaften den Jenaer Forscher mit dem Verkin-Preis.

Margitta Sossna

Sie wurde für ihr langjähriges Engagement als Mitarbeiterin im Reinraum des Leibniz-IPHT ausgezeichnet. Mit ihrem enormen Erfahrungsschatz hat sie an der Weiterentwicklung der Mikro- und Nanotechnologien mitgearbeitet.

Dr. Sonja Unger

Sie wurde für ihr Lebenswerk auf dem Gebiet der Fasertechnologie gewürdigt. Sie hat mit ihrem Fachwissen über Herstellung und Verarbeitung von Quarzglasfasern die Forschung in der Abteilung Faseroptik entscheidend vorangebracht.



Dr. Sonja Unger im Labor zur Herstellung von Quarzglaspreformen



Thüringens Ministerpräsident Bodo Ramelow und seine Frau begrüßten das Königspaar vor dem Leibniz-IPHT.



Institutdirektor Jürgen Popp führte Willem-Alexander und Máxima durch das Leibniz-IPHT.



Stationen des Rundgangs waren der Faserziehturm, eine Exponateausstellung und die Vorführung der Terahertz-Kamera.

Königlicher Glanz

» Am 7. und 8. Februar 2017 waren der niederländische König Willem-Alexander und Königin Máxima zu Gast in Thüringen. Das Königspaar begleitete eine Wirtschaftsdelegation, die in Thüringen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für vier Tage Halt machte, um die Handels- und Wirtschaftsbeziehungen zwischen Deutschland und den Niederlanden zu vertiefen und die Zusammenarbeit in den Branchen Photonik, Halbleitertechnologien und Chemie zu fördern.

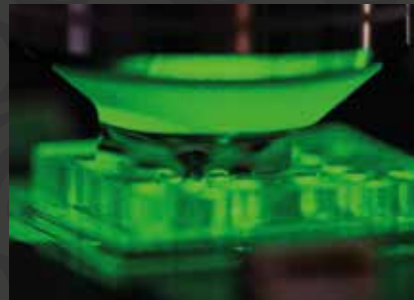
Am zweiten Tag ihres Aufenthaltes besuchten Willem-Alexander und Máxima zusammen mit einer etwa 70-köpfigen Wirtschaftsdelegation das Leibniz-IPHT. Bei ihrem Aufenthalt am Institut erhielt das Königspaar einen Einblick in die Thüringer Industrie- und Forschungslandschaft. Vier Thüringer Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus der Optik- und Mikroelek-

tronikbranche präsentierten neueste Produkte und Forschungsarbeiten. Dazu gehörte die am Leibniz-IPHT entwickelte Terahertz-Sicherheitskamera. Sie spürt Waffen und Explosivstoffe am menschlichen Körper auf, ohne diesen aktiv zu bestrahlen oder die Anatomie des Körpers detailliert abzubilden. Ein Highlight des Rundgangs war die Besichtigung des 14 Meter hohen

Faserziehturms. Er zählt europaweit zu den modernsten Forschungsanlagen zur Herstellung optischer Glasfasern für Spezialanwendungen. Zum Abschluss ihres Besuches am Leibniz-IPHT unterzeichneten Vertreter von Forschungseinrichtungen aus Jena und den Niederlanden im Beisein des Königspaares ein Memorandum zur Intensivierung zukünftiger Forschungsoperationen.



Biophotonik



Der **Forschungsschwerpunkt Biophotonik** erforscht und realisiert unter Einbindung der Technologieforschung der Faseroptik und Photonischen Detektion innovative photonische Verfahren und Werkzeuge für die Molekülspektroskopie und hyperspektrale Bildgebung, die hochauflösende Lichtmikroskopie sowie die faser-, chip- und nanopartikelbasierte Analytik und Diagnostik höchster Spezifität, Sensitivität und Auflösung.

Spektroskopische Bestimmung der Antibiotikaempfindlichkeit innerhalb von 3,5 Stunden auf einem Mikrofluidikchip

U. Neugebauer // U.-Chr. Schröder // J. Kirchhoff // U. Glaser // U. Hübner // G. Mayer // T. Henkel // W. Fritzsche // J. Popp

Innovative partikelbasierte Probenvorbereitungsstrategien für den Nachweis von Bakterien

K. Weber // S. Pahlow // L. Lehniger // S. Hentschel // S. Kloß // D. Cialla-May // J. Popp

Endoskopische Fasersonde für nichtlineare, spektroskopische Bildgebung

A. Lukic // S. Dochow // H. Bae // T. Meyer // G. Matz // I. Latka // B. Messerschmidt // M.A. Schmitt // J. Popp

Oberflächen-verstärkte Raman-Streuung von Zelllysaten für eine verbesserte Tumorzell-detektion

Chr. Krafft // M. Hassoun // J. Popp

Multimodale Bildanalyse für die Gewebediagnostik

T. Bocklitz // S. Guo // T. Meyer // C. Pfeifenbring // J. Popp

Untersuchungen zur Raman-Spektraldatenanalyse

T. Bocklitz // S. Guo // R. Heinke // S. Stöckel // P. Rösch // J. Popp

SERS-Application in environmental and medical science

D. Cialla-May // O. Zukovskaja // S. Patze // I. Jahn // K. Weber // J. Popp

Fundamentale SERS-Untersuchung der Wechselwirkung kleiner Moleküle mit Silbernanopartikeln

A. Mühlig // D. Cialla-May // J. Popp

Optische und thermische Eigenschaften plasmonischer Nanopartikel

F. Garwe // A. Csäki // M. Thiele // W. Fritzsche

Mikrofluidik für Nanopartikelsynthese und LOC-Technologie

M. Thiele // A. Csaki // T. Henkel // W. Fritzsche

Sensorik basierend auf lokalisierten Oberflächenplasmonen

O. Stranik // B. Doherty // A. Csäki

Tip-enhanced Raman Scattering an hoch energetischen Nanopartikeln

T. Deckert-Gaudig // V. Deckert

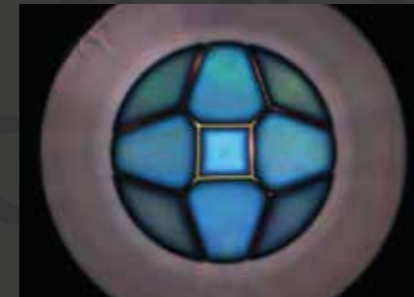
Herstellung von 3D-Nanostrukturen für innovative Biosensoren

M. Ziegler // D. Cialla-May // S. Yüksel // S. Goerke // U. Hübner

Einfluss der biologischen Umgebung auf die Photophysik von Photosensibilisatoren

Chr. Reichardt // M. Wächtler // B. Dietzek

Faseroptik



Der **Forschungsschwerpunkt Faseroptik** widmet sich den Ausbreitungseigenschaften und der effizienten und flexiblen Steuerung faser- und planargeführten Lichts. Dies umfasst Technologie- und Grundlagenforschung zum Verständnis der Lichtausbreitung in Faserwellenleitersystemen und zur Realisierung neuartiger Fasermodule und -systeme. Der Schwerpunkt erforscht neuartige mikrostrukturierte und funktionalisierte Fasern für sensorische Fragestellungen in der Biophotonik sowie nichtlineare und Laser-basierte Faserlichtquellen.

Das viskose Verhalten synthetischer Quarzglasrohre beim Kollabieren

S. Unger // J. Kirchhof

Homogenisierung dotierter Quarzgläser mittels plasmabasierter Prozesse

V. Reichel // H. Baierl // T. Trautvetter // K. Schuster

Getaperte Faserverstärker basierend auf Pulver-Sinter-Technologie zur Peakleistungsskalierung und Verbesserung der Strahlqualität

M. Leich // Y. Zhu // T. Eschrich // S. Grimm // J. Kobelke // H. Bartelt // M. Jäger

Wellenlängenabstimmbarer Faserlaser mit Ein- und Mehrwellenlängenemission

T. Tieß // M. Becker // M. Rothhardt // H. Bartelt // M. Jäger

Lichtführung in antiresonanten Hohlkernfasern

M. Zeisberger // M.A. Schmidt

Hoch-kohärente Superkontinuums-generation in Flüssigkernfasern

M. Chemnitz // M.A. Schmidt

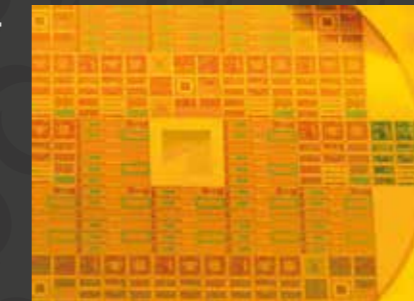
Anregung von Kurzstrecken-Oberflächenplasmon-Polaritonen in einer mit Gold-Nanodrähten versehenen Stufenindexfaser

A. Tuniz // S. Weidlich // M.A. Schmidt

Multioktave Superkontinuum-Erzeugung in resonanzverstärkten antiresonanten Hohlkernfasern

R. Sollapur // D. Kartashov // M. Züch // A. Hoffmann // T. Grigorova // G. Sauer // A. Hartung // A. Schwuchow // J. Bierlich // J. Kobelke // M. Chemnitz // M.A. Schmidt // C. Spielmann

Photonische Detektion



Der **Forschungsschwerpunkt Photonische Detektion** erforscht und nutzt Licht-Materie-Wechselwirkungen zur Realisierung innovativer Sensor- und Detektorkonzepte höchster Empfindlichkeit, Präzision und Spezifität. Hierzu gehören Technologieforschung auf dem Gebiet der Mikro- und Nanotechnologien, sensornahe Aufbau- und Verbindungstechnologien sowie Multiplex- und Ausleseschaltungen und die Integration der untersuchten molekularen und Festkörper-Komponenten in spektroskopische und bildgebende photonische Instrumente.

Blockierter Energietransfer in einem mehrfachangeregten mehrkernigen Übergangsmetallkomplex

J. Kübel // M. Wächtler // B. Dietzek

Ladungstrennung in funktionalisierten CdSe@CdS-Nanostäbchen – Einfluss der Größe des Metallpartikels

M. Wächtler // B. Dietzek

Magnetisch induzierte Transparenz supraleitender Quanten-Metamaterialien

E. Il'ichev // U. Hübner

Detektion von einzelnen Mikrowellenphotonen

G. Oelsner // E. Il'ichev // U. Hübner

Mikro- und nanofabrizierte Targets für physikalische Hochenergie-Experimente

U. Hübner // S. Fuchs // S. Göde

Entwicklung supraleitender Digital-schaltungen für die Neuen Quantentechnologien

J. Kunert // E. Il'ichev // O. Brandel // G. Oelsner // R. Stolz // H.-G. Meyer

Neue Magnetfeldsensoren für die elektromagnetische Tiefensondierung

R. Stolz // M. Schiffler // M. Schmelz // A. Chwala // G. Oelsner // R. IJsselsteijn // T. Schönau // V. Zakosarenko // V. Schultze

Supraleitende bildgebende Magnetometrie mit einer Energieauflösung am Quantenlimit

M. Schmelz // V. Zakosarenko // T. Schönau // S. Anders // S. Linzen // R. Stolz // H.-G. Meyer

Optisch gepumptes Magnetometer im LSD-Mz-Modus

V. Schultze // B. Schillig // R. IJsselsteijn // R. Stolz

Besseres Bild durch eine „mitdenkende“ Beleuchtung für Smartphone-Mikroskope

B. Diederich // R. Heintzmann

Zahlen und Fakten 2017



13 EU-cofinanzierte Projekte
(ERA-Net, Eurostars, JPI etc.),
6 davon durch
Leibniz-IPHT
koordiniert



13 EU-finanzierte Projekte,
4 davon durch
Leibniz-IPHT
koordiniert



6 Markeneintragungen,
2 davon Unionsmarken (EU)



8 Patentanmeldungen,
4 davon prioritätsbegründend



2 Patenterteilungen



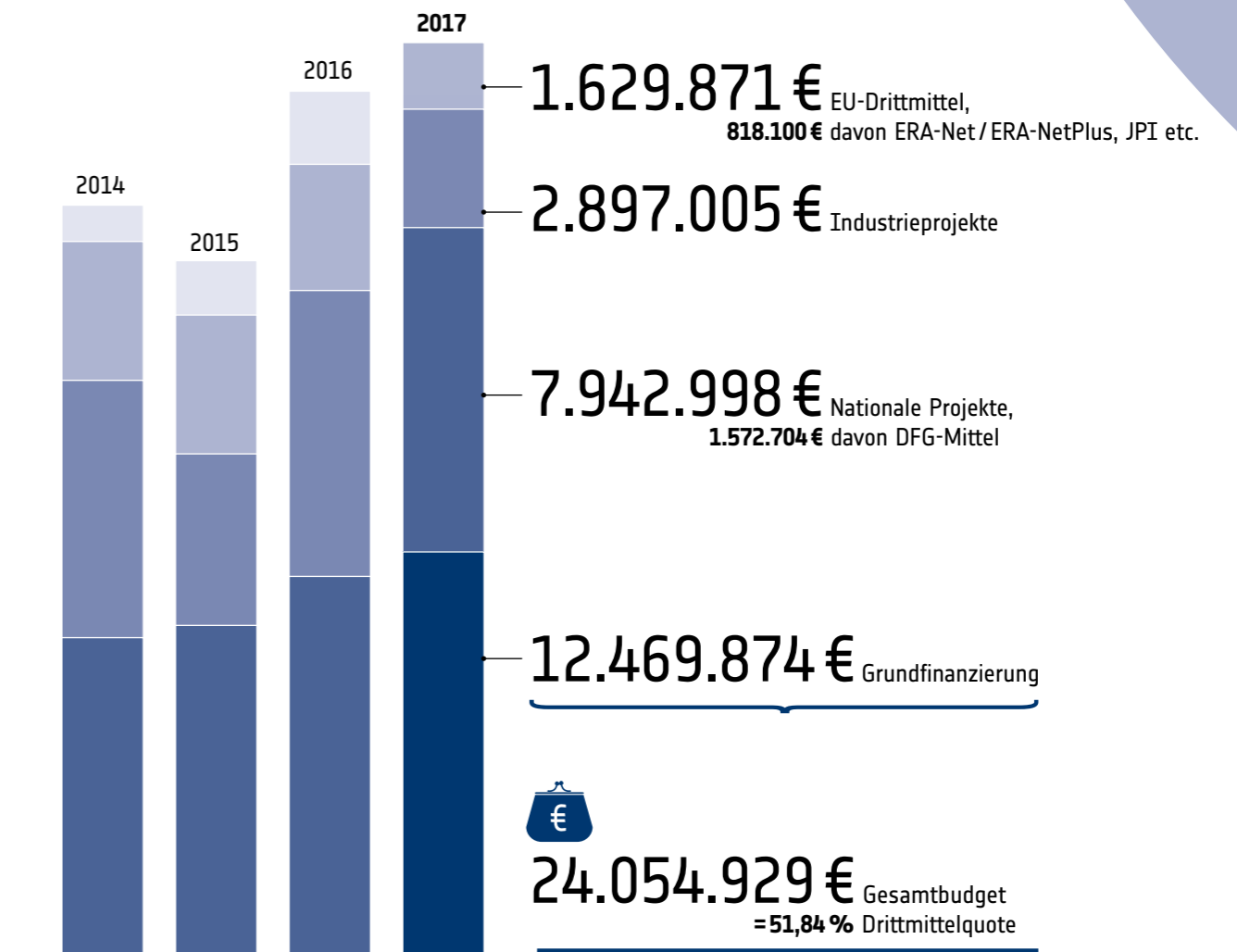
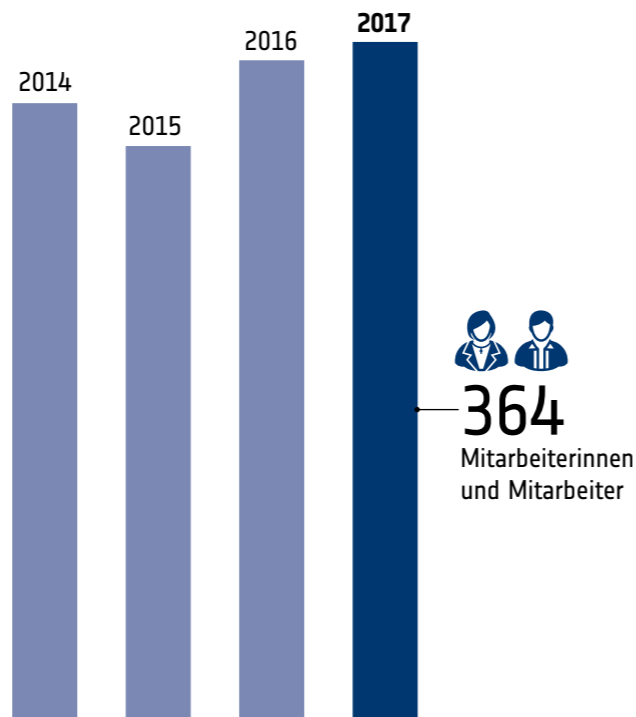
15 Promotionen,
6 davon Frauen



221 Vorträge oder Poster
51 davon Invited Talks /
Keynotes / Plenary Talks



195
Publikationen in
referierten Journalen



Organigramm

Mitgliederversammlung

Kuratorium

Wissenschaftlicher Beirat

Vorstand

Prof. Dr. Jürgen Popp //
Vorsitzender und
Wissenschaftlicher Direktor

Frank Sondermann //
Administrativer Direktor

Prof. Dr. Hartmut Bartelt //
Stellvertretender Wissenschaftlicher
Direktor (im Ruhestand seit 31.03.17)

Prof. Dr. Ute Neugebauer //
Stellvertretende Wissenschaftliche
Direktorin (seit 01.05.17)

Prof. Dr. Benjamin Dietzek //
Stellvertretender Wissenschaftlicher
Direktor (seit 01.05.2017)

Dr. Bernd Ebersold //
Vorsitzender

Vorstandsreferenten

Dr. Roland Mattheis //
Vorstandsreferent

Susanne Hellwage //
Persönliche Referentin des
Wissenschaftlichen Direktors

Forschungsstrategie und -kommunikation

Prof. Dr. Benjamin Dietzek //
Strategische F&E-Planung

Daniel Siegesmund //
Öffentlichkeitsarbeit und
Forschungsmarketing

Prof. Dr. Cornelia Denz //
Sprecherin

Verwaltung, Betriebstechnik

Frank Sondermann // Leiter

Wissenschaftliche Koordination

Dr. Ivonne Bieber //
Projektmanagement und
Patentwesen

Personalvertretung

Dr. Gudrun Andrä //
Vorsitzende des Betriebsrates

Sarah Meinhardt //
Gleichstellungsbeauftragte

Wissenschaftlicher Beirat 2017

Sprecher

Prof. Dr. Cornelia Denz // Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Mitglieder

Prof. Dr. Heike Ebendorff-Heidepriem // University of Adelaide, Australien

Eugen Ermantraut // BLINK GmbH, Jena

Prof. Dr. Heinz-Wilhelm Hübers // Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin

Prof. Dr. Werner Mäntele // Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt

Prof. Dr. Monika Ritsch-Marte // Universität Innsbruck

Prof. Dr. Christian Spielmann // Friedrich-Schiller-Universität Jena

Prof. Dr. Frank W. Weichold // Food and Drug Administration, Silver Spring, USA

Forschungseinheiten

Abteilungen

Spektroskopie/Bildgebung

Prof. Dr. Jürgen Popp

Faseroptik

Prof. Dr. Tomáš Čížmār

Quantendetektion

Prof. Dr. Heidemarie Schmidt

Nanobiophotonik

apl. Prof. Dr. Wolfgang Fritzsche

Nanoskopie

Prof. Dr. Volker Deckert

Funktionale Grenzflächen

Prof. Dr. Benjamin Dietzek

Biophysikalische Bildgebung

Prof. Dr. Christian Eggeling

Mikroskopie

Prof. Dr. Rainer Heintzmann

Gruppen

Fasersensorik

Prof. Dr. Markus Schmidt

Magnetometrie

Dr. Ronny Stolz

Nanooptik

Prof. Dr. Jer-Shing Huang

Klinisch-Spektroskopische Diagnostik

Prof. Dr. Ute Neugebauer

Kuratorium 2017

Vorsitzender

Dr. Bernd Ebersold // Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft, Erfurt

Mitglieder

Dr. Hans Eggers // Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn

Prof. Dr. Thorsten Heinzel // Friedrich-Schiller-Universität Jena

Klaus Berka // Analytik Jena

Dr. Ludwin Monz // Carl Zeiss Meditec AG, Jena

Vereinsmitglieder 2017

Institutionelle Mitglieder

Ernst-Abbe-Hochschule // vertreten durch die Rektorin Prof. Dr. Gabriele Beibst (bis 11.17), Prof. Dr. Steffen Teichert (ab 11.17)

4H Jena Engineering GmbH // vertreten durch Michael Boer

Sparkasse Jena // vertreten durch Erhard Bückemeier

GIS Institut für Mikrosensorik e.V., Erfurt // vertreten durch Dr. Hans-Joachim Freitag

j-fiber GmbH, Jena // vertreten durch Dr. Jürgen Rosenkranz

Robert Bosch GmbH, Stuttgart // vertreten durch Dr. Achim Moritz

Friedrich-Schiller-Universität Jena // vertreten durch Dr. Jörg Neumann

Stadt Jena // vertreten durch den Oberbürgermeister Dr. Albrecht Schröter

Leibniz-Institut für Festkörper-und Werkstoffforschung e.V., Dresden // vertreten durch Prof. Dr. Ludwig Schultz

Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft, Erfurt // vertreten durch Dr. Ute Zopf

Persönliche Mitglieder

Prof. Dr. Hartmut Bartelt // Leibniz-Institut für Photonische Technologien e.V., Jena

Dr. Frank Ehrhardt // Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft, Erfurt

Dr. Klaus Fischer // Jena

Elke Harjes-Ecker // Thüringer Staatskanzlei, Erfurt

Prof. Dr. Hans Eckhardt Hoinig // Erlangen

Bernd Krekel // Commerzbank AG, Jena

Prof. Dr. Jürgen Popp // Leibniz-Institut für Photonische Technologien e.V., Jena

Frank Sondermann // Leibniz-Institut für Photonische Technologien e.V., Jena

Prof. Dr. Herbert Stafast // Jena

Finanzen des Institutes 2017

in T Euro

Institutionelle Förderung (Freistaat Thüringen, Bund) 11.585,1

Drittmittel 12.469,9

24.055,0

Institutionelle Förderung: Verwendung

Personalmittel 7.051,7

Sachmittel 3.374,6

Investitionsmittel 1.158,8

11.585,1

Drittmittel

Bund 4.256,0

davon für Projekte finanziert von der Leibniz-Gemeinschaft 512,0 T€

DFG 1.572,7

(Zusätzlich haben IPHT Wissenschaftler an der Universität Jena DFG-Mittel in Höhe von 300,2 T€ verausgabt)

Freistaat Thüringen 2.086,9

davon für Umstrukturierung im Rahmen EFRE 1.034,9 T€

EU 1.629,9

davon für EU-Maßnahmen wie ERA-Net / ERA-NetPlus, Joint Programming Initiativen u. a. 818,1 T€

Aufträge öffentlicher Einrichtungen 146,8

Sonstige Zuwendungsgeber 27,4

Unteraufträge in Verbundprojekten 115,2

FuE Aufträge inkl. wissenschaftlich-technische Leistungen 2.635,0

12.469,9

Personal des Institutes 2017

Nach Vollbeschäftigungseinheit

	<i>institutionelle Förderung</i>	<i>Drittmittel- förderung</i>	<i>Professoren</i>	<i>Summe</i>	<i>Personen</i>
Wissenschaftler	36,90	61,58	7,00	105,48	115
Gastwissenschaftler**	-	-	-	-	16
Extern finanzierte Wissenschaftler*	-	-	-	-	16
Extern finanzierte Mitarbeiter*	-	-	-	-	3
Extern finanzierte Doktoranden*	-	-	-	-	35
Doktoranden	9,00	29,53	-	38,53	66
Technisches Personal	35,44	39,09	-	74,53	79
Kaufmännisches Personal	12,85	4,71	-	17,56	19
Wissenschaftliche Koordination	3,00	2,63	-	5,63	6
ÖA und Forschungsmarketing	3,51	3,12	-	6,63	7
Vorstand	1,00	0,00	0,50	1,50	2
Auszubildende	0,00	0,00	-	0,00	0
Gesamtpersonal	101,70	140,66	7,50	249,86	364

** Mitarbeiter, die nicht über die Entgeltabrechnung des Leibniz-IPHT vergütet werden bzw. von einer anderen Institution (z. B. FSU) finanziert werden, aber ihren Arbeitsschwerpunkt am Leibniz-IPHT haben

**Wissenschaftler, die im Kalenderjahr 2017 bisher länger als einen Monat am Leibniz-IPHT tätig waren und von einer anderen Institution finanziert wurden. Keine Anwendung der Stichtagsregelung 31.12.2017

Impressum

Herausgeber:

Leibniz-Institut für Photonische Technologien e.V.

Standort:

Albert-Einstein-Str. 9, 07745 Jena

Postanschrift:

PF 100 239, 07702 Jena

Telefon | Telefax:

00 49 3641 206 00 | 0049 3641 206 399

Redaktion:

Daniel Siegesmund, Dr. Anja Schulz, Britta Opfer, Christian Döring, Ann-Kathrin Popp

Layout:

Katrin Uhlig

Bilder:

Sven Döring _Agentur Focus, Hamburg, Leibniz-IPHT Jena

© Leibniz-IPHT Jena _03.2018

www.leibniz-ipht.de

PHOTONICS FOR LIFE
from Ideas to Instruments

Leibniz-Institut für Photonische Technologien e. V.

Standort:

Albert-Einstein-Str. 9
07745 Jena

Postanschrift:

PF 100 239
07702 Jena

www.leibniz-ipht.de

 Follow us: twitter.com/Leibniz_IPHT


Leibniz
Gemeinschaft