reflexion

JUBILÄUMSAUGABE 25 JAHRE LEIBNIZ-INSTITUT *für* PHOTONISCHE TECHNOLOGIEN

25 JAHRE ipht jena

Available on the App Store

Google play

LEIBNIZ ipht LEIBNIZ-INSTITUT *für* PHOTONISCHE TECHNOLOGIEN

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Wir danken allen Förderern und Unterstützern, insbesondere

dem Freistaat Thüringen, der Leibniz-Gemeinschaft,
dem Bundesministerium für Bildung und Forschung,
dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,
der Deutschen Forschungsgemeinschaft,
der Europäischen Union,
der Stiftung für Technologie, Innovation und Forschung Thüringen
und der Carl-Zeiss-Stiftung.

Prof. Dr. Jürgen Popp // Wissenschaftlicher Direktor

Frank Sondermann // Kaufmännischer Direktor

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

» Vor 25 Jahren wurde das IPHT unter dem Namen Institut für Physikalische Hochtechnologie gegründet. Heute, ein Vierteljahrhundert später, ist das IPHT unter dem Namen Leibniz-Institut für Photonsiche Technologien als Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft fest in der nationalen und internationalen Forschungslandschaft verankert. Mit dem klar definierten Forschungsprofil „Photonics for Life“ und dem Anspruch Forschung von den Grundlagen bis hin zu Verfahren und Systemen für die Anwendung in den Umweltwissenschaften, Sicherheitsanwendungen und Lebenswissenschaften zu betreiben, übernimmt das IPHT eine zentrale Rolle bei der Erforschung photonischer Gesundheitstechnologien.

Die erfolgreiche Entwicklung und Profilierung des Institutes wurde insbesondere durch den Wissenschaftsrat im Zuge der Evaluierung im Jahr 2013 bestätigt: „Insgesamt ist dem IPHT die strategische Ausrichtung auf das Forschungsfeld Biophotonik sehr gut gelungen. Dies gilt für die methodische Spannweite der Forschungsaktivitäten, die Grundlagen- und Anwendungsforschung gleichermaßen umfassen. Das Forschungsfeld hat ein sehr großes Zukunftspotential und weist eine sehr hohe gesellschaftliche Relevanz auf“, heißt es im damaligen Bewertungsbericht.

Wir verstehen das Jubiläum aber nicht lediglich als Anlass, um Erreichtes zu würdigen. Vielmehr möchten wir unseren Fokus auf die Ziele und Meilensteine richten, die noch vor uns liegen. Die einzigartige technologische Ausstattung und die wissenschaftliche Expertise unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind hierbei ein stabiles Fundament, auf dem wir die Zukunft des IPHT aufbauen.

Unser Dank gilt der Belegschaft des IPHTs für ihre hohe Motivation und engagierte Arbeit. Wir danken dem Freistaat Thüringen und dem Bund für die jahrzehntelange, enge und stets partnerschaftliche Zusammenarbeit und die kontinuierliche Unterstützung auf unserem Weg. Ebenso möchten wir uns bei allen Fördergeldgebern, Projektträgern und Partnern aus Forschung, Industrie und Politik für das entgegengebrachte Vertrauen bedanken.

Viel Freude beim Lesen wünschen Ihnen

Jürgen Popp
Wissenschaftlicher Direktor

Frank Sondermann
Kaufmännischer Direktor

PHOTONICS FOR LIFE
from Ideas to Instruments

Inhalt

6

25 Jahre Expertise für die Herausforderungen der Zukunft.

Die ehemaligen Direktoren Prof. Eckhardt Hoenig und Prof. Hartmut Bartelt im Gespräch mit Prof. Jürgen Popp über historische Wegbereitung und neue Pfade, die das IPHT beschreitet.

rund
1.800
Veröffentlichungen in referierten Fachzeitschriften
2005-2016

226
Patente erteilt
1992-2016

12

Photonics for Life – Von der Grundlagenforschung zur Anwendung

Die Palette spektroskopischer Techniken und Systemlösungen des IPHT wird stetig erweitert. Neue spektroskopische Analyse- und Diagnoseverfahren prägen auch in Zukunft das Erscheinungsbild des Instituts.

24

Faseroptik – Von Kow-How und High-Tech

Die Anwendungsgebiete für optische Fasern haben sich seit Institutsgründung stark gewandelt. Sie liefern immer neue Impulse für innovative Fasertypen und -technologien.

ca.
170 Mio €
Drittmittel
2000-2015

IPHT JENA – INSTITUT FÜR PHYSIKALISCHE HOCHTECHNOLOGIE e.V. JENA

Gründung
1992

INSTITUT für PHOTONISCHE TECHNOLOGIEN – ipht jena

Profilierung mit Schwerpunkt Photonik in den Lebenswissenschaften
2007

LEIBNIZ-INSTITUT für PHOTONISCHE TECHNOLOGIEN – ipht jena

Aufnahme in die Leibniz-Gemeinschaft
2014

LEIBNIZ ipht – LEIBNIZ-INSTITUT für PHOTONISCHE TECHNOLOGIEN
2017

2005-2006
Strukturkommission unter Leitung von Prof. Dietrich Wegener (TU Dortmund)

2011-2013
Evaluierungsprozess für die Aufnahme in die Leibniz-Gemeinschaft

2014-heute
Weiterprofilierung auf dem Gebiet der photonischen Technologien für System-Lösungen aus den Bereichen Sicherheit, Gesundheit und Umwelt

30

Mikro- und Nanotechnologien – Vom Reinraum in die Sensorik

In 25 Jahren wuchs aus einst 60 m² Laborfläche ein etwa 700 m² großer Reinraum: das technologische Herz des IPHT. Die Übersicht zeigt die Entwicklung des Reinraums, der Mikro- und Nanotechnologien und deren Anwendung.

ca.
40
EU-geförderte Projekte, davon mehr als
10
koordiniert
2004-2016

13
Thüringer Forschungspreise
1996-2015

38

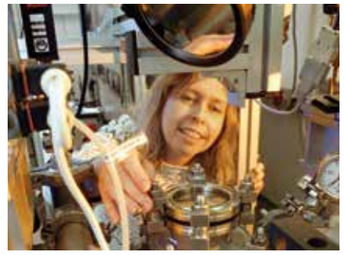
SQUIDs – Tieftemperatur-Supraleiter für hochauflösende Kartierung

Die exakte und schnelle magnetische Kartierung archäologischer Fundstätten ist nur eine der vielfältigen Anwendungen für die SQUID-basierten Sensoren aus dem IPHT. Ihre Erfolgsgeschichte beginnt schon vor Institutsgründung.

42

Silizium – Von der Photovoltaik zur Biophotonik

Ein Blick auf die Drittmittelprojekte der vergangenen Jahre zeigt, dass die Erforschung dünner Schichten und Nanodrähte aus Silizium zu neuen Technologien und Anwendungen abseits der Photovoltaik führt.



46

„Wir sollten mehr Forscherinnen und Forscher ermutigen, mit ihren Ideen Unternehmen zu gründen.“

Eugen Ermantraut spricht über seinen Weg Ideen in die Anwendung zu bringen. Er wünscht sich, dass mehr junge Forscherinnen und Forscher den Schritt wagen eine eigene Firma zu gründen.

„Als administrative EU-Projektmanagerin kommuniziere ich mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus ganz Europa, betreue internationale Forschungsnetzwerke und unterstütze die IPHT-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter dabei, neue Projekte einzuwerben. Den Erfolg sieht man an unseren großen europäischen Forschungsprojekten und unseren Veröffentlichungen – fast die Hälfte stammt aus der Zusammenarbeit mit internationalen Autoren aus insgesamt 30 Ländern.

GABRIELE HAMM
Seit 2011 am IPHT
EU-Projektmanagerin
Wissenschaftliche Koordination

Mein Arbeitsplatz ist Europa.“

Prof. Dr. Eckhardt Hoenig

Von seiner Forschergruppe in Frankfurt am Main, wechselte Eckhardt Hoenig zum Siemens-Forschungslabor nach Erlangen, wo er auf dem Gebiet der Supraleitung und Biomagnetismus forschte. 1993 erhielt Hoenig den Lehrstuhl für Kryoelektronik an der Friedrich-Schiller-Universität Jena (FSU). Gleichzeitig übernahm er am IPHT die Leitung des Forschungsbereiches Kryoelektronik / Mikrosysteme sowie den Posten des wissenschaftlichen Direktors und Vorstandsvorsitzenden. Seine Forschungsschwerpunkte waren die supraleitende Elektronik, Magnetoelektronik, Infrarotsensorik und die Mikrotechnik für Anwendungen in der Biotechnologie. Nachdem er 1999 die Aufgabe als wissenschaftlicher Direktor und Vorstandsvorsitzender des IPHT an Prof. Dr. Hartmut Bartelt übergeben hatte, leitete Hoenig den Forschungsbereich Magnetik / Quantenelektronik.

25 Jahre Expertise für die Herausforderungen der Zukunft.

» 25 Jahre Leibniz-IPHT. Anlass genug, um nicht nur die bisherige Entwicklung zu reflektieren, sondern zugleich strategische Ziele der Zukunft zu definieren. Vor diesem Hintergrund trafen sich die beiden bisherigen Institutsdirektoren Prof. Dr. Eckhardt Hoenig und Prof. Dr. Hartmut Bartelt mit dem amtierenden wissenschaftlichen Direktor Prof. Dr. Jürgen Popp zu einem Interview.

Wenn wir uns die aktuelle Situation anschauen: Was zeichnet das IPHT aus?

Jürgen Popp: Das Forschungsprofil des IPHT lässt sich ganz einfach mit „Photonics for life“ umschreiben. Wir forschen an photonischen und biophotonischen Lösungen für drängende gesellschaftliche Fragen aus den Bereichen Gesundheit, Umwelt und Sicherheit.

Unsere Forschung zielt u. a. darauf ab, mit unseren photonischen und biophotonischen Lösungen in puncto Auflösung, Sensitivität, Spezifität, Geschwindigkeit, Genauigkeit und Automatisierung in neue Dimensionen vorzudringen. Sie legt damit z. B. die Grundlagen für eine schnellere und genauere medizinische Diagnostik, für eine neue Qualität der Lebensmittel- und Wasseranalyse sowie für innovative Sicherheitstechnik und dient letztlich dazu, das Leben sicherer und gesünder zu machen.

Die Kennzahlen des IPHT können sich sehen lassen. Wir haben eine Drittmittelquote von 50 %. Sie stammen zu einem großen Teil von der DFG, der EU, vom BMBF, vom Land Thüringen und der Industrie. Wenn man die Mitarbeiterzahl anschaut, sind wir mittlerweile bei rund 330 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Unter den Beschäftigten sind etwa 90 bis 110 Doktorandinnen und Doktoranden. Den wissenschaftlichen Erfolg des Instituts sehen wir an unseren großen europäischen Forschungsprojekten, unseren Veröffentlichungen und Patenten. Von den rund 200 Publikationen im Jahr stammt fast die Hälfte aus der Zusammenarbeit mit internationalen Partnern. Zudem werden jährlich etwa 5 Patente erteilt.

Herr Hoenig wie genau müssen Sie als Gründungsdirektor hinschauen, um etwas von dem IPHT zu sehen, das Sie bis 1999 geleitet haben?

Eckhardt Hoenig: Das IPHT war damals viel breiter aufgestellt. Wir bearbeiteten Themen aus den Bereichen Materialwissenschaft, Tieftemperaturphysik und -elektronik. Auch wenn heute vieles davon nicht mehr Teil des Institutes ist, so erkenne ich es doch wieder. Die Strategie der Fokussierung auf die Photonik seit 2007 war gut.

Jürgen Popp: Das, was das IPHT heute ausmacht, wurde in einer sehr frühen Zeit begründet. Vor 10 Jahren, als der Prozess der Profilbildung begann, hatte das IPHT bereits eine überragende technologische Basis im Bereich der Optik, magnetischer Komponenten, Mikro- und Nanotechnologie und Faserziehtechnologie aufgebaut. Zwar unterscheidet sich das heutige IPHT hinsichtlich seiner Außenwirkung und Außendarstellung sehr stark von dem damaligen, aber die technologische Alleinstellung ist bereits 1992 auf den Weg gebracht worden. Im Rahmen der Neuprofilierung war es das Ziel, diese hochwertigen technologischen Kompetenzen gewinnbringend für die neuen Themen einzusetzen.

Herr Bartelt, Sie kamen in den Anfangsjahren zum IPHT, um den Bereich Faseroptik und Fasertechnologie weiter auszubauen. Welche Erwartungen hatten Sie?

Hartmut Bartelt: Als ich 1994 in Jena anfing war das eine Zeit des Umbruchs, aber auch des Aufbruchs. Man konnte sehr deutlich erkennen, dass viel Potential vorhanden war. Die Fasertechnologie sowie die Mikro- und Nanotechnologie waren hier etabliert. Mit einer neuen technischen Ausstattung konnte die Forschung auf einem noch höheren, international ausgerichteten Niveau, erfolgreich geleistet werden.

Herr Hoenig, wie haben Sie die Zeit der Gründung empfunden? War es ein Abenteuer für Sie nach Jena zu gehen?

Eckhardt Hoenig: Meine Motivation nach Jena zu gehen war sehr groß. Es war allgemein bekannt, dass kein anderer Platz im Osten das Feld der Quantenelektronik dermaßen stark bearbeitet hatte. In den Folgejahren haben wir dieses Forschungsgebiet zum technischen Erfolg gebracht. Es ist etwas ganz anderes, wenn eine ganze Aufbruch-Generation von jungen Leuten loslegt, als in einem etablierten Umkreis Entwicklungen voranzutreiben.

Das Augenmerk lag darauf, die eigenen Talente und die eigene Expertise zu nutzen. Im Vorgängerinstitut, dem Physikalisch-Technischen-Institut (PTI), war vieles solide gewachsen, zum Beispiel die Thermo-Sensorik. Das war die Keimzelle des Reinraumes und führte zu den ersten Erfolgen bei industriellen Partnern.

Mitte der 90er Jahre folgten Pläne das IPHT am Beutenberg Campus anzusiedeln. Die erste Baumaßnahme war der Bau des Reinraumes. 1999 kam das Hauptgebäude hinzu. Was waren die Beweggründe für den Umzug?

Eckhardt Hoenig: Am ursprünglichen Standort am Helmholtzweg war alles eng bebaut. Es gab keine Chance einen Neubau dort unterzubringen. Auf den Beutenberg Campus hingegen fanden wir freie Flächen. Aber das Wachstum musste in vernünftigen Schritten finanziert werden, die jedes Mal erkämpft und begründet werden mussten. Das Land und der Bund engagierten sich finanziell sehr stark für die Erneuerung des IPHT.

Hartmut Bartelt: Wobei es nicht selbstverständlich war, dass das Institut ein Hauptgebäude am Beutenberg Campus bekam. Es gab Pläne, die Gebäude am Helmholtzweg während des laufenden Betriebes zu sanieren. Erst relativ kurzfristig kam der Vorschlag aus dem Ministerium, ob man nicht statt dieses Sanierungsprozesses lieber gleich eine zusammenführende Lösung am Beutenberg haben möchte. Danach geschah alles sehr schnell: Wir beauftragten die Planung des Gebäudes, stellten die Finanzierung sicher und konnten dann als eines der ersten großen Institute hier auf den Beutenberg umziehen.

Seitdem gibt es immer wieder neue Baumaßnahmen ...

Jürgen Popp: Technologie lebt von Erneuerung. Die technologische Infrastruktur ist innerhalb von zirka 10 bis 15 Jahren abgeschrieben und der Gerätepark muss sukzessive erneuert werden. Mit der Fokussierung auf photonische Technologien war es notwendig, sich genau zu überlegen, wie man den Reinraum weiterführt. Können die

Prof. Dr. Jürgen Popp und Dr. Tobias Meyer im CARS-Labor

Prof. Dr. Hartmut Bartelt

Hartmut Bartelt verließ 1994 das Siemens-Forschungslabor in Erlangen und nahm einen Ruf als Professor für Moderne Optik an der Friedrich-Schiller-Universität Jena an. Von 1999 bis 2006 leitete er als wissenschaftlicher Direktor und Vorstandsvorsitzender das IPHT sowie den Forschungsbereich Optik am Institut. Während dieser Zeit forschte Bartelt an der Entwicklung optischer Fasern mit neuen Eigenschaften und Anwendungen in der Informationstechnik oder der Sensorik sowie an Faserlichtquellen und Faserverstärkern auf der Basis innovativer mikrooptischer Faserstrukturen. Nachdem Prof. Jürgen Popp im Jahr 2006 die Institutsleitung übernahm, ist Bartelt als Leiter der Abteilung Faseroptik tätig.

Prof. Dr. Jürgen Popp

Nach seiner Habilitation in physikalischer Chemie an der Universität Würzburg erhielt Jürgen Popp im Jahr 2002 einen Ruf auf den Lehrstuhl für Physikalische Chemie in Jena. Seit 2006 ist er wissenschaftlicher Direktor des IPHT und leitet die Abteilung Spektroskopie und Bildgebung. Zu den Forschungsschwerpunkten von Popp zählt die Raman-Spektroskopie und Bildgebung zur Lösung biophotonischer Fragestellungen.

Anlagen und Maschinen die vorhanden sind, wirklich sinnvoll für die neue Ausrichtung genutzt werden? Mit finanzieller Unterstützung des Bundes und des Landes sowie mit europäischen Mitteln, waren wir in der Lage, den Reinraum dann entsprechend komplett zu sanieren und zu erweitern. Seitdem haben wir einen Reinraum höchster Qualität auf 1000 Quadratmeter Fläche. Gleichzeitig entstand ein Faserziehturm von 14 Metern Höhe. Damit sind wir in der Lage Fasern herzustellen, die mit denen aus einem industriellen Ziehprozess vergleichbar sind. Wenn wir Anwendungen in den Markt überführen wollen, dann müssen wir in der Lage sein, industrielle Standards zu erfüllen.

Hartmut Bartelt: Schon relativ früh, nachdem das IPHT „laufen" gelernt hatte, überlegte man, wie das IPHT in der Förder- und Forschungsstruktur der Bundesrepublik Deutschland langfristig bestehen kann. Mit dem Selbstbewusstsein und dem Ansporn das Institut international konkurrenzfähig zu machen, ging die Konzentration auf die starken Gebiete einher. Aufgrund des Umfeldes in Jena war Photonik ein naheliegender Schwerpunkt, welcher sehr attraktive und vor allem integrative Projekte hier in Jena ermöglicht. Das führte dazu, dass diese Ausrichtung als strategischer Forschungsfokus erkannt und verfolgt worden ist.

Jürgen Popp: Zur Evaluation wurde 2005 eine Strukturkommission eingesetzt. Sie hatte den Auftrag die Stärken und Schwächen sowie das integrative Element in der Forschung zu identifizieren. Die Analyse hat ergeben, dass der Schwerpunkt auf optische und photonische Technologien gelegt werden soll. Es zeichnete sich zudem ab, dass wir

mit unserer Forschung vor allem Fragestellungen in den Lebenswissenschaften adressieren. Unsere Aufgabe war es, gemeinschaftlich mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ein Konzept zu erarbeiten und dieses umzusetzen. Mit den exzellenten wissenschaftlichen Ergebnissen, können wir nicht nur Wissen in die Gesellschaft zurückgeben, sondern auch Lösungen erarbeiten, die Verbrauchern und Patienten direkt zu Gute kommen oder der Gesellschaft neue Handlungsgrundlagen liefern. Das beinhaltet auch den Transfer in Form von Firmenausgründungen aus dem IPHT.

Einhergehend mit dem Beginn der Umstrukturierungsmaßnahmen wurde das Ziel formuliert, das IPHT in eine der großen Forschungsgemeinschaften in Deutschland zu überführen. Wie ist dieser Prozess vollzogen worden?

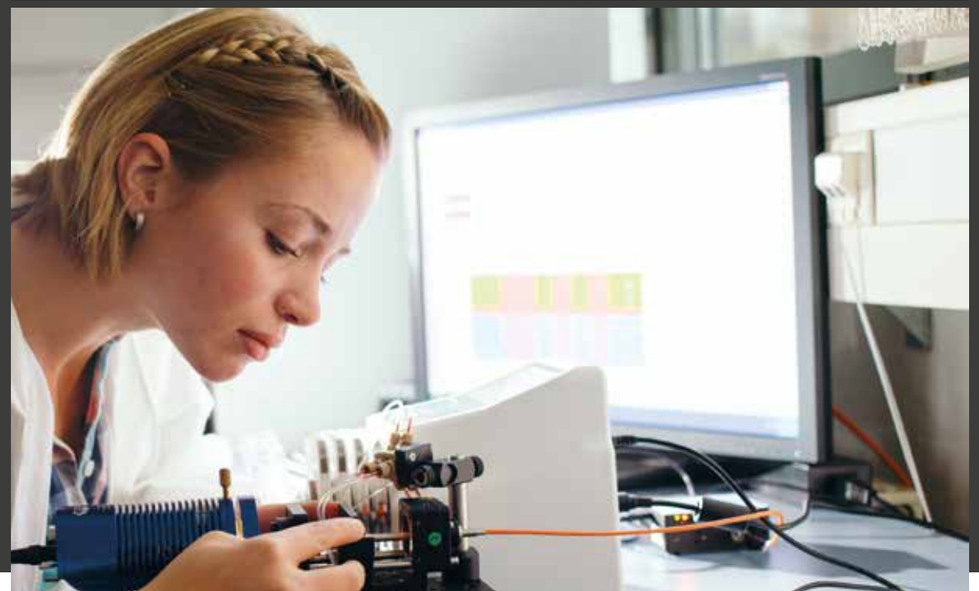
Jürgen Popp: Als ich im Jahr 2006 die wissenschaftliche Leitung des Institutes übernommen habe, wollte ich vorrangig dazu beitragen, dass wir auf den neuen Themenfeldern ein exzellentes Institut werden. Wir haben uns zunächst die Frage nach unserem Forschungsprofil gestellt. Was sind unsere Schwerpunkte?

Die Analyse hat gezeigt, dass wir zwei große Technologieschwerpunkte haben. Zum einen die Fasertechnologie für die Faseroptik. Zum anderen haben wir das ganze Spektrum von Mikro- und Nanotechnologie, Systemtechnologie und Dünnschichttechnologie, die mit der Quantendetektion in Verbindung stehen. Diese beiden Schwerpunkte verbindet die Biophotonik, die in den vergangenen Jahren am IPHT etabliert und aufgebaut worden ist und anwendungsnah betrieben wird. Mit diesen 3 Forschungsbereichen adressieren wir zentrale gesellschaftliche Fragestellungen im Bereich der Umweltwissenschaften, der Lebenswissenschaften, der Sicherheit und der Medizin. Daraus entwickelte sich das Leitmotto des IPHT: „Photonics for Life“. Es ist uns in den vergangenen 10 Jahren gelungen, diesen Ansatz mit Leben zu erfüllen, in dem wir die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der einzelnen Forschungsschwerpunkte dazu ermutigt haben, Themen gemeinsam, schwerpunktübergreifend zu bearbeiten. Für unsere wissenschaftliche und technologische Ausrichtung, nämlich auf der einen Seite die Grundlagenforschung und auf der anderen Seite die angewandte Forschung mit dem Anspruch in Richtung Transfer, war die Leibniz-Gemeinschaft die richtige Adresse.

Der Weg bis zur Aufnahme war nicht einfach. Wir mussten uns vielen Evaluierungen stellen. Zunächst wurde von der Leibniz-Gemeinschaft überprüft, ob wir überhaupt passfähig sind und ob wir eine Verstärkung bringen. Als das gegeben war, mussten zunächst die Gremien der Leibniz-Gemeinschaft unserem Antrag zustimmen. Dann wurde der Prozess noch diffiziler, da er auch Zustimmung in der Bund-Länder-Kommission finden musste. Erst dann wurde der Wissenschaftsrat beauftragt, der das Institut im Januar 2013 für 2 Tage besucht und evaluiert hat. Auf Basis dieses sehr positiven Votums, bei dem die wissenschaftliche Exzellenz des IPHT und die nationale Bedeutung unserer Forschungsaktivitäten herausgestellt wurden, konnten wir aufgenommen werden.

Faserziehturm des Leibniz-IPHT

^ Reinraum des Leibniz-IPHT



v Doktorandin Sophie Thamm nutzt plasmonische Metallstrukturen für die Bioanalytik.

Wie gelingt es, wissenschaftliche Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung in konkrete Lösungen, Labormuster oder gar marktreife Produkte, gemäß dem Credo „From Ideas to Instruments“ zu überführen? Wie kann dieser Prozess in Zukunft weiter optimiert werden.

Jürgen Popp: Idealerweise arbeitet man, wenn man das grundlegende Prinzip also das „proof of princple“ gezeigt hat, mit einen Industriepartner zusammen. Dieser entwickelt dann das Labormuster zum Produkt weiter. Wir stellten jedoch relativ schnell fest, dass neue Technologien von der Industrie zwar gerne beäugt werden, Hersteller aber das unternehmerische Risiko der Umsetzung in Produkte scheuen.

Wir müssen uns Gedanken machen, wie man diesen Prozess der Translation auf eine neue Qualitätsstufe heben kann. Mit dem Aufbau des Forschungscampus InfectoGnostics haben wir diesbezüglich erste wichtige Schritte getan. In öffentlich-privater Partnerschaft erforschen Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft und Klinik gemeinsam an einem Ort nämlich am Zentrum für Angewandte Forschung (ZAF) an der FSU, neue Ansätze für die Diagnose von Infektionen. Durch die enge Zusammenarbeit innerhalb des Forschungscampus sollen Lücken in der Wertschöpfungskette überbrückt werden. Gemeinsam mit der FSU, der Ernst-Abbe-Hochschule, dem Hans-Knöll-Institut und dem Universitätsklinikum Jena sowie mit den Firmen Alere und Analytik Jena haben wir dieses Konzept als Bewerbung beim BMBF eingereicht. Insgesamt lagen dem Ministerium 96 solcher Anträge vor, aus denen letztendlich lediglich zehn einen Bewilligungsbescheid erhalten haben. Wir können stolz darauf sein, dass auch das InfectoGnostics-Konzept positiv begutachtet wurde. Der Forschungscampus erhält nun eine Förderungen für einen Zeitraum von bis zu 15 Jahren. Mit InfectoGnostics haben wir eine Struktur geschaffen, mit der wir in der Lage sind, photonische Technologien effizienter in medizinische Anwendungen zu überführen. Ein erstes Produkt ist auf dem Markt.

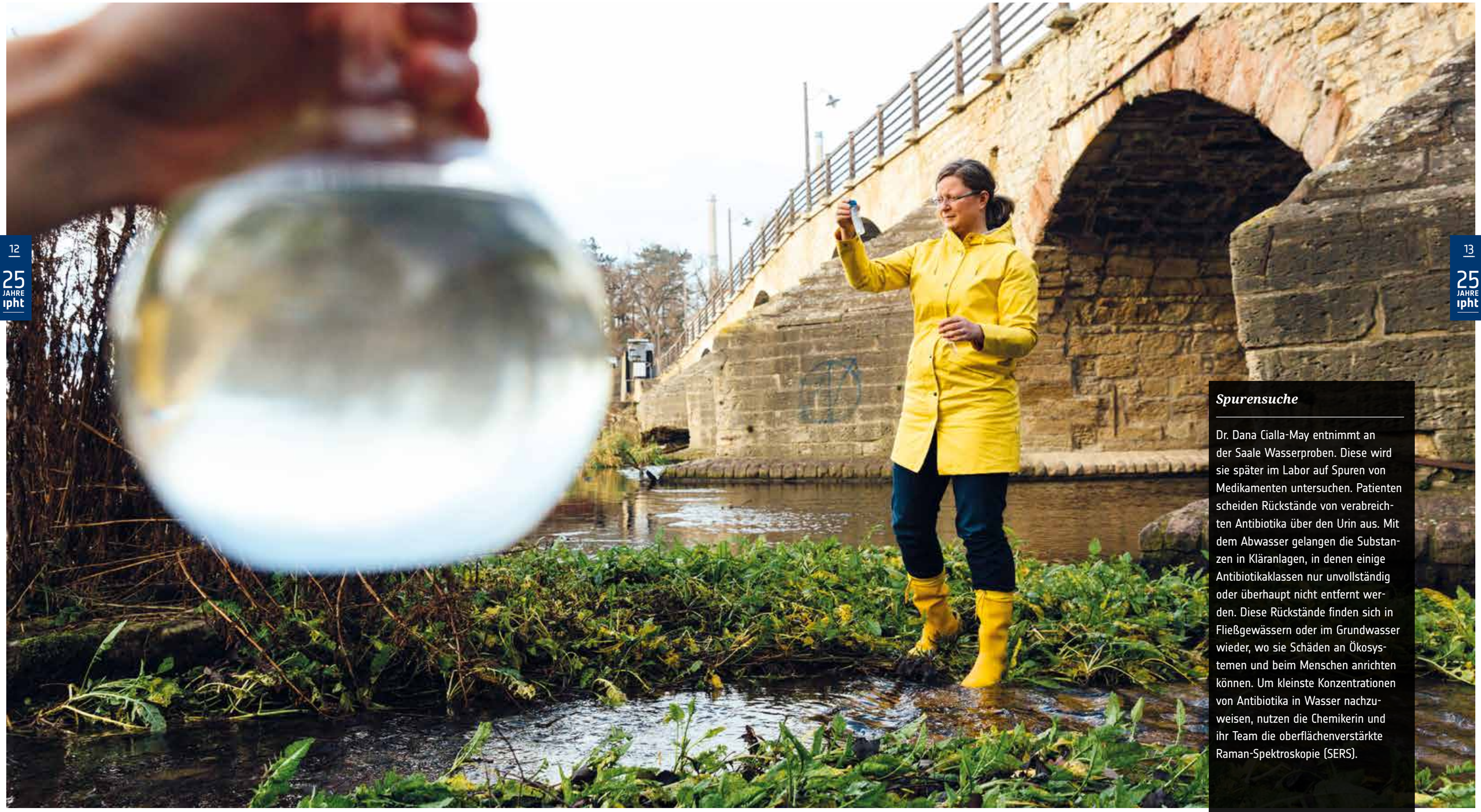
Wo sehen Sie das IPHT in den kommenden 25 Jahren?

Jürgen Popp: Ich sehe das Institut für zukünftige Herausforderungen gut gerüstet. Wir werden den eingeschlagenen Weg konsequent verfolgen und unser Forschungsprofil „Photonics for Life“ weiter schärfen. Für diese Aufgabe steht uns eine herausragende technologische Ausstattung zu Verfügung. Aber das A und O, um erfolgreich sein zu können, sind die kompetenten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie ein konstruktives und kollegiales Miteinander. Auch in diesem Bereich sehe ich uns gut aufgestellt. Die Belegschaft des Institutes identifiziert sich mit dem inhaltlichen Profil des IPHT und zeigt sich hochmotiviert und engagiert. Ich bin davon überzeugt, dass wir auf dieser Basis gemeinsam Lösungen zu Fragestellungen aus den Bereichen Gesundheit, Medizin, Sicherheit und Umwelt beitragen werden.

Photonics for Life

Von der Grundlagenforschung zur Anwendung

» Wie können wir krankheitserregende Bakterien schnell und einfach nachweisen? Welche Mechanismen bringen molekulare Katalysatoren dazu, mit Hilfe von Licht Wasserstoff zu erzeugen? Wie erhalten wir genaue Einblicke in die molekularen Prozesse lebender Zellen? Lässt sich gesundes von krankem Gewebe schon während einer Operation unterscheiden? Die optische Spektroskopie ist ein universell einsetzbares Werkzeug, mit dem die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des IPHT den unterschiedlichen Fragen aus den Bereichen Gesundheit, Umwelt und Sicherheit auf den Grund gehen. Auch in der Saale sucht Dr. Dana Cialla-May nach Spuren von Antibiotika.



Spurensuche

Dr. Dana Cialla-May entnimmt an der Saale Wasserproben. Diese wird sie später im Labor auf Spuren von Medikamenten untersuchen. Patienten scheiden Rückstände von verabreichten Antibiotika über den Urin aus. Mit dem Abwasser gelangen die Substanzen in Kläranlagen, in denen einige Antibiotikaklassen nur unvollständig oder überhaupt nicht entfernt werden. Diese Rückstände finden sich in Fließgewässern oder im Grundwasser wieder, wo sie Schäden an Ökosystemen und beim Menschen anrichten können. Um kleinste Konzentrationen von Antibiotika in Wasser nachzuweisen, nutzen die Chemikerin und ihr Team die oberflächenverstärkte Raman-Spektroskopie (SERS).

Der Ursprung der optischen Spektroskopie am IPHT

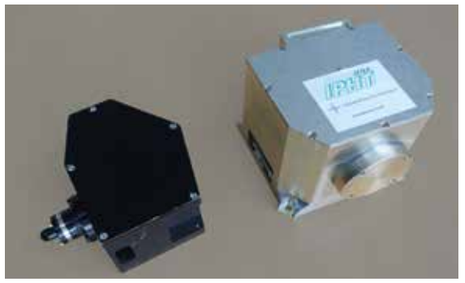
» In einem der ersten vom Land Thüringen finanzierten Projekte, erforschten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter um Dr. Rainer Riesenberg ein Infrarotphotometer mit extrem hohem Dynamikumfang von 10^4 für den Kohlendioxidnachweis. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Miniaturisierung optischer Spektrometer für den Einsatz in der Raumfahrt. Hierfür erforschte und entwickelte die IPHT-Gruppe in Zusammenarbeit mit Industriepartnern Spektrometer mit Eingangsspalt-Arrays, sogenannte HADAMARD-Spektrometer. Aufgrund des innovativen optischen Konzeptes konnten die Spektrometer verkleinert werden, so dass sie auf eine Handfläche passten. Für die wissenschaftliche Leistung erhielt Riesenberg im Jahr 2001 den Thüringer Forschungspreis.

Sowohl die Einbindung von Prof. Popp (2005) als auch die Berufungen von Prof. Deckert und Prof. Dietzek (2009 bzw. 2011) ans IPHT leitete den Aufbruch des Instituts in eine neue Forschungsära ein. Die drei Wissenschaftler erweiterten die Palette der spektroskopischen Methoden um verschiedene Raman-spektroskopische Techniken sowie nicht-lineare und zeitaufgelöste Spektroskopie. Die Expertise auf diesen Forschungsfeldern prägt maßgeblich das Erscheinungsbild des IPHT national und international. Heute erforschen und entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am IPHT in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Physikalische Chemie der Friedrich-Schiller-Universität eine große Bandbreite optischer Spektroskopie-Methoden für umwelt- und lebenswissenschaftliche, sicherheitstechnische und medizinische Anwendungen. Dabei wird u. a. das Ziel verfolgt, die verwendeten Komponenten weiter zu miniaturisieren und die Verfahren zu automatisieren, so dass sie perspektivisch auch von Laien Vor-Ort, also außerhalb eines Speziallabors, eingesetzt werden können.

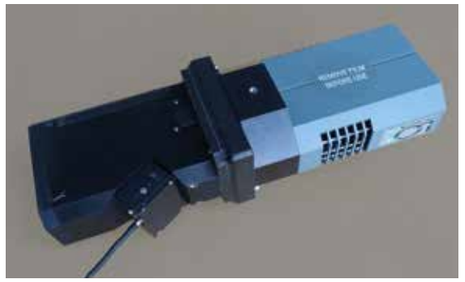
Aktuell kann hierfür die Entwicklung eines Raman-Spektrometers von etwa der Größe eines Smartphones genannt werden. Das handliche Gerät soll einen schnellen und eindeutigen Vor-Ort-Nachweis krankheitserregender Keime und deren möglicher Antibiotika-Resistenz in Patientenproben ermöglichen.

System-Lösungen der Gruppe Riesenberg

Nicht-Dispersives-Infrarot-Photometer (1992) für den CO_2-Nachweis mit neuem planaren Infrarotstrahler und extrem großem Dynamikbereich



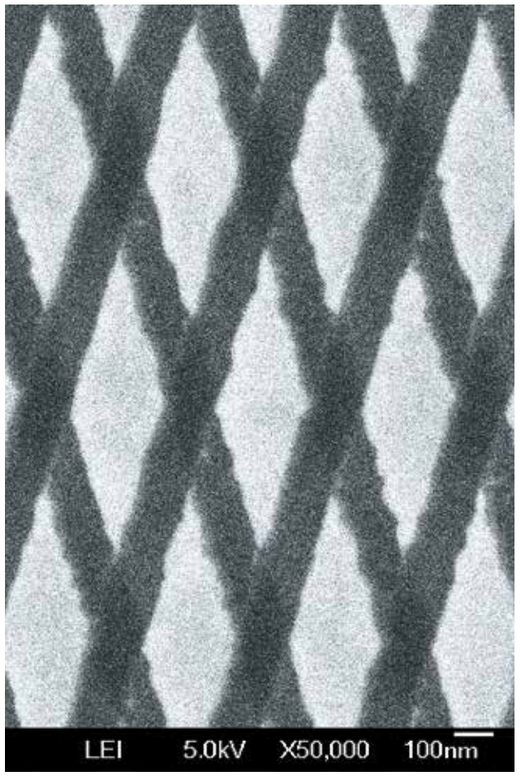
Raumfahrt getestete HADAMARD-Spektrometer mit Eingangs-Mikrospalt-Array für die Europäische Raumfahrtbehörde (ESA), 2001 weltweit das kleinste Spektrometer für den Ozonnachweis



Tragbares UV-Raman-Spektrometer für die Biotechnologie (Bakterien- und Mineraliennachweis), auf Basis eines Mikrospalt-Arrays. Es ersetzt ein kommerzielles, großes Tischgerät bei gleicher Leistungsfähigkeit.

Zukünftiges Raman-Spektrometer mit iPhone mit neuem planaren, mikrostrukturierten, diffraktiven Element, anstelle des üblichen Gitters

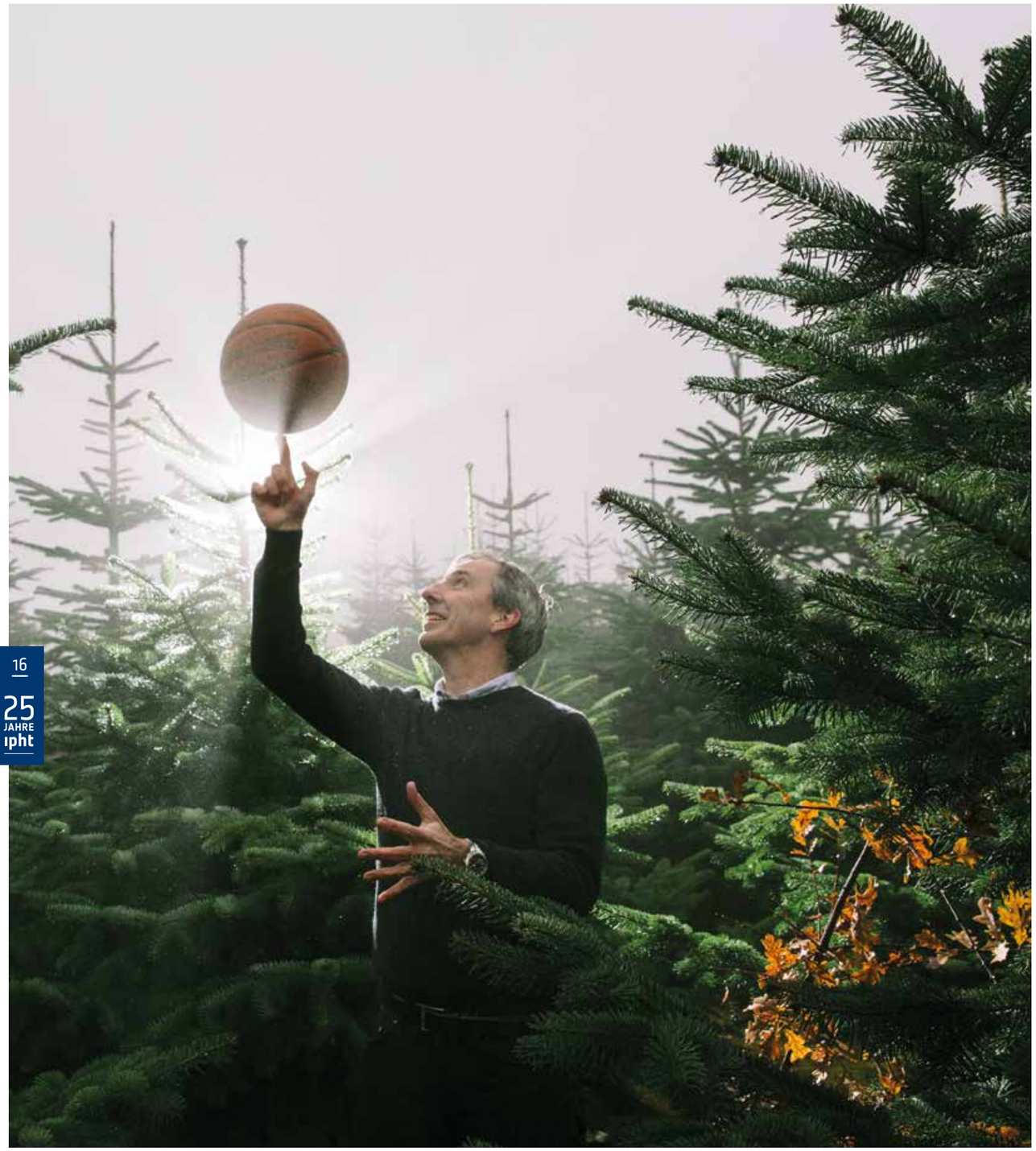
Lab-on-a-Chip-SERS-Aufbau

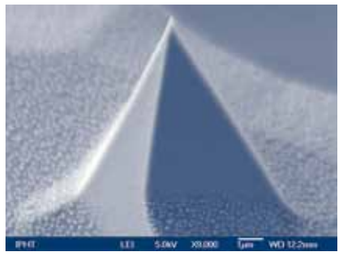


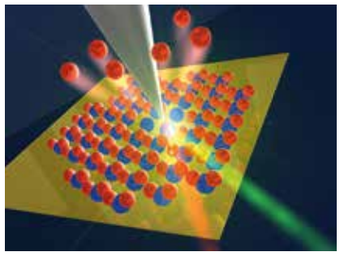
Nanostrukturiertes SERS-Substrat aus dem Reinraum

Optische Spektroskopie trifft Mikro-Nanotechnologie

» Wie schafft es das Team um Dr. Dana Cialla-May und Dr. Karina Weber kleinste Spuren von Verunreinigungen in Wasser, Lebensmitteln oder geringste Mengen eines Medikaments in Körperflüssigkeiten nachzuweisen? Die Forscherinnen und Forscher nutzen die oberflächenverstärkte Raman-Spektroskopie (SERS) als ein leistungsfähiges und empfindliches Analyseverfahren für ihre biologischen, klinischen und umweltanalytischen Fragestellungen. Dabei bringen sie die Analyten an die Oberfläche metallischer Strukturen aus Silber oder Gold im Nanometerbereich, welche die Raman-Signale der Analytmoleküle um mehrere Größenordnungen verstärken. Die Erforschung und Untersuchung maßgeschneiderter Gold- und Silbernanostrukturen, die z. B. mit Hilfe von Mikrostrukturierungstechniken erzeugt werden, sind aktuelle Forschungsschwerpunkte am IPHT. Doch erst durch die Kombination der SERS-Analytik mit mikrofluidischen *Lab-on-a-Chip* Systemen (*LOC*-SERS), hergestellt im Reinraum des IPHT, erlaubt die Detektion weniger Einzelmoleküle in einer Probe. Die ultrasensitiven *LOC*-SERS-Systeme adressieren die wichtigsten Anforderungen, die an eine moderne analytische Methode gestellt werden: Sie sind schnell und einfach; dazu robust, kostengünstig und automatisiert. Dadurch können die Systeme eine große Anzahl von Proben in Echtzeit analysieren. Die *LOC*-SERS Technologie ermöglicht zum Beispiel die schnelle und quantitative Bestimmung des Medikamentenspiegels vor Ort, das heißt die Messung der Konzentration eines Medikaments in Körperflüssigkeiten eines Patienten. Diese Analyse beeinflusst direkt die folgende Dosierung des Medikaments. Zur Konzentrationsbestimmung geben Ärzte die Patientenproben üblicherweise in ein klinisches Labor. Da das Standardverfahren viel Zeit in Anspruch nimmt, kann der therapeutische Effekt des Medikaments beim Patienten nicht unmittelbar überprüft werden. Mit Hilfe der *LOC*-SERS Methode können geringe, aber für den Patienten schon toxische Konzentrationen beispielsweise eines Krebstherapeutikums schnell und einfach bestimmt werden.







Bei der TERS-Analytik fokussieren die Forscherinnen und Forscher einen Laser auf eine mit Silbernanopartikeln beschichtete AFM-Spitze, die die Probe abtastet. Die AFM-Spitze verstärkt das Raman-gestreute Licht der Probe, das dann mit einem Mikroskopobjektiv gesammelt und nachfolgend abgebildet wird. Die Auflösung im Nanometerbereich liegt dabei deutlich unter der Beugungsgrenze – der natürlichen Grenze herkömmlicher Fernfeld-mikroskopischer und spektroskopischer Methoden.

TERS – Molekularer Fingerabdruck in nanometergenauer Auflösung

» Jahrelange Erfahrung und intensive Grundlagenforschung bilden das Fundament für die große Kompetenz des IPHT in der Erforschung und Anwendung spektroskopischer Methoden. Das zeigt sich unter anderem anhand der Arbeiten auf dem Gebiet der spitzenverstärkten Raman-Spektroskopie (Tip enhanced Raman Spectroscopy-TERS). Das Verfahren kombiniert die molekulare Selektivität der Raman-Mikrospektroskopie mit der atomaren Auflösung der Rastertunnel- oder Rasterkraftmikroskopie (Atomic Force Microscopy – AFM). Die Forscherinnen und Forscher um Prof. Volker Deckert, einem der weltweit führenden Experten auf diesem Gebiet, können mit dieser Technologie völlig neue molekulare Einblicke in den Nanokosmos erhalten. So gelang Deckert mittels TERS erstmals die direkte „molekulare“ Identifizierung eines einzelnen nur etwa 300 nm langen Tabak-Mosaikvirus. Die klassischen Virennachweise basieren auf meist komplexen und zeitintensiven mikrobiologischen Methoden wie ELISA (Enzyme-linked immunosorbent Assay) oder PCR (Polymerase Chain Reaction). Bildgebende Verfahren wie die Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) und AFM sind zwar schneller, ermöglichen jedoch nur die Darstellung der Virenmorphologie und nicht die Zuordnung zu einer bestimmten Spezies. Die TERS-Methode liefert über das charakteristische Raman-Spektrum alle erforderlichen Informationen zur molekularen Charakterisierung der Viren und kann perspektivisch neue Mutationen klassifizieren, für die beispielsweise noch keine Antikörpertests bestehen.

„Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“ – was schon Aristoteles bewusst war, eröffnet den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern heute neuen Forschungsspielraum. Sie nutzen die Effekte sich gegenseitig ergänzender, spektroskopischer Methoden. So können die Forschergruppen von Volker Deckert und Benjamin Dietzek mit einer Kombination aus TERS und Ultrakurzzeitspektroskopie Strukturen und dynamische Prozesse an heterogenen Grenzflächen nanometergenau abbilden und verfolgen. Diese Grenzflächen zwischen Halbleiternanostrukturen und molekularen Sensibilisatoren bilden die aktive Einheit für die Lichtabsorption in Katalysatoren, die mit Hilfe von Licht Wasserstoff erzeugen. Erst die hohe Ortsauflösung von TERS kombiniert mit ultraschneller zeitaufgelöster Absorptionsspektroskopie erlauben es, die lichtinduzierten Mechanismen an der Halbleiter-Sensibilisator-Grenzfläche zu verstehen – ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu effizienten Katalysatoren für die nachhaltige Energieerzeugung.

Die herausragende Kompetenz des IPHT auf dem Gebiet der TERS wurde mit dem Thüringer Forschungspreis 2011 in der Kategorie „Grundlagenforschung“ und der Auszeichnung „Ausgewählter Ort im Land der Ideen 2012“ gewürdigt.

Über die Herausforderung, Nanopartikel, TERS-Spitzen und Moleküle in einem Foto abzubilden

„Das Porträt von Volker Deckert benötigte zahlreiche konzeptionelle Anläufe. Es erschien wieder mal unmöglich, die Übersetzung eines wissenschaftlichen Themas anschaulich zu inszenieren. Deckert gelingt es, optische Grenzen zu überwinden und Dinge sichtbar zu machen, die selbst ein Mikroskop auf Grund der natürlich begrenzten Beugung des Lichts nicht abbilden kann. Er erklärte die Funktionsweise der Nanoskopie gern mit der Nadel des Plattenspielers. Irgendwann kamen Weihnachtsbäume ins Gespräch. Die haben auch Spitzen.

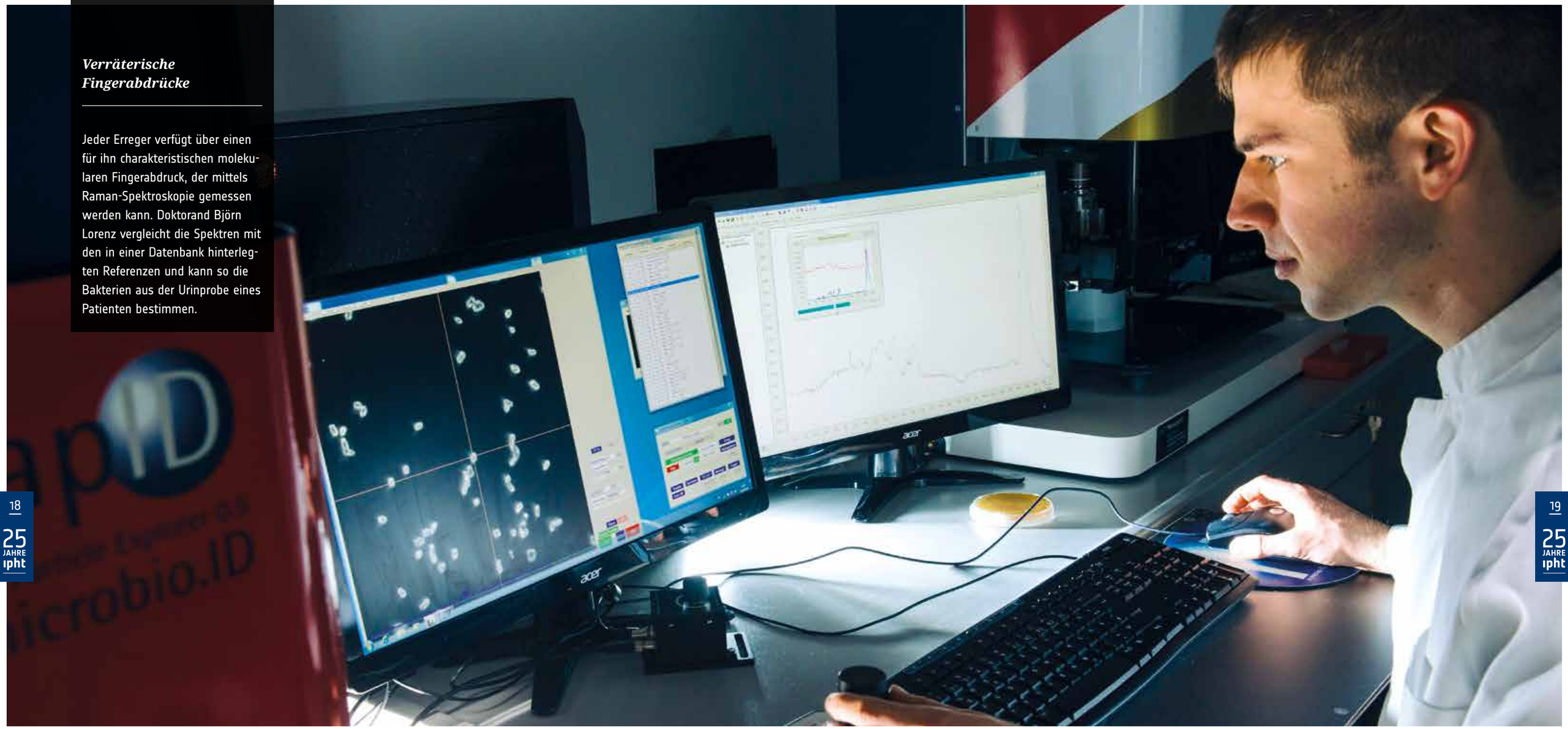
Es erschien mir zu kompliziert, Herrn Deckert unter die Optik eines Mikroskops zu bekommen. Auch auf einem Plattenspieler liegend konnte ich ihn mir nicht vorstellen. Aber das Motiv wurde klarer. Manchmal ist die Wissenschaft eine verkehrte Welt. Also kehrten wir die Welten um. Volker Deckert wurde klein. Oder besser, die wissenschaftliche Welt wurde unglaublich groß. Was noch fehlte, waren rießige Moleküle. Wie wär‘s mit einem Basketball?

Mir ist kein von mir porträtierter Wissenschaftler in Erinnerung, der nicht Gefallen an einem Ausflug in eine andere optische Welt gefunden hat. Deckert zeigte nicht nur ungeahntes Können mit dem Basketball, sondern er widerstand auch recht vergnügt der furchtbaren Kälte. Während wir dick vermummt im Sprühregen hinter der Kamera oder am Blitzlicht standen, zog er fürs Bild sogar noch seine Jacke aus. Dafür sind wir ihm sehr dankbar.

Die Juroren erwähnen bei den Preisverleihungen zu meinen Bildern immer wieder, wie erfrischend es ist, zu sehen, dass Wissenschaftler lustige, lebendige Menschen sind. So sind die Sichtweisen der beiden Welten.“

Sven Döring

Der Dresdner Fotograf Sven Döring dokumentiert seit 2010 die Forschungsarbeiten am IPHT. Für seine Arbeiten erhielt er zahlreiche renomierte Auszeichnungen. Döring fotografiert u.a. für den Spiegel, Focus und die New York Times.



Verräterische Fingerabdrücke

Jeder Erreger verfügt über einen für ihn charakteristischen molekularen Fingerabdruck, der mittels Raman-Spektroskopie gemessen werden kann. Doktorand Björn Lorenz vergleicht die Spektren mit den in einer Datenbank hinterlegten Referenzen und kann so die Bakterien aus der Urinprobe eines Patienten bestimmen.

Kulturunabhängiger Nachweis von Infektionserregern

» Die Krankheitssymptome von Sepsis-Patienten sind nicht immer eindeutig und mitunter nur schwer von denen einer Grippe zu unterscheiden: rasender Puls, Schüttelfrost und hohes Fieber. Gleichwohl sind die Folgen einer Sepsis um ein Vielfaches dramatischer und ohne die richtige Therapie tödlich. Hervorgerufen durch eine bakterielle Infektion bringt sie das Immunsystem aus dem Gleichgewicht und greift den Organismus an. „Ohne rechtzeitig einsetzende Therapie verläuft eine Sepsis fast immer tödlich", erläutert Prof. Dr. Michael Bauer, Direktor der Anästhesiologie und Intensivmedizin am Universitätsklinikum Jena (UKJ) und zugleich Sprecher des dortigen Center for Sepsis Control and Care (CSCC). Eine Möglichkeit ist die Behandlung mit Breitbandantibiotika, wogegen der Erreger eventuell Resistenzen aufweist. Als Alternative bleibt die Therapie mit Reserveantibiotika, wodurch neue Resistenzen entstehen können. Liegt keine verlässliche Diagnose vor, können Ärzte daher nur schwer eine fundierte therapeutische Entscheidung fällen.

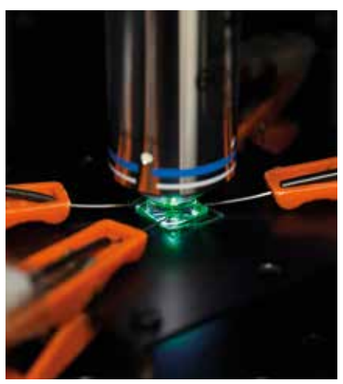
Rund 150.000 mal pro Jahr sehen sich Mediziner in Deutschland mit dieser Problematik konfrontiert, denn mikrobiologische Standardverfahren zur Bestimmung der Infektionserreger und deren Resistenzen benötigen mitunter mehr als 48 Stunden. An einem septischen Schock sterben mehr als die Hälfte der Patienten noch bevor die Laborergebnisse vorliegen.

Der Ansatz krankheitserregende Keime mit Raman-spektroskopischen Verfahren zu bestimmen, wurde am IPHT erstmals kurz nach der Jahrtausendwende gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen aus dem Institut für Physikalische Chemie der Friedrich-Schiller-Universität Jena und Partnern aus der Industrie erforscht. Ziel des vom BMBF geförderten Verbundprojektes OMIB war der spektroskopische Nachweis von biologischen Partikeln ohne diese zuvor in einem mikrobiologischen Verfahren zu kultivieren. In dreijähriger Forschungsarbeit gelang es den Projektpartnern die technologische Machbarkeit nachzuweisen. Ein erstes Labormuster mit kompakter Bauweise entstand, welches die Berliner Firma rap.ID zu einem Produkt weiterentwickelte und vermarktet – dem BioParticle Explorer. Eines der ersten Anwendungsgebiete war die Überwachung der Luft in Reinräumen bei der Herstellung von Medikamenten.

Den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern am IPHT eröffneten sich mit dem BioParticle Explorer neue Möglichkeiten bei der Erforschung von Erregernachweismethoden in biologischen Proben. Im Zentrum der Forschungsaktivitäten der Folgejahre stand die Frage, inwiefern die Raman-Spektroskopie für die Infektionsdiagnostik geeignet ist. In enger Zusammenarbeit mit dem CSCC entstanden Datenbanken in

Prof. Michael Bauer (links) und Prof. Dr. Andreas Kortgen am Bett eines Sepsispatienten

denen mehrere Zehntausend Spektren unterschiedlicher Sepsiserreger, aufgezeichnet in verschiedenen Probenmaterialien, erfasst sind. Anhand dieser molekularen Fingerabdrücke lassen sich die Erreger mit einer Treffergenauigkeit von 95 Prozent in weniger als einer Stunde nachweisen.



Erregeridentifikation in einem Dielektrophorese-Chip

Ein weiterer Schwerpunkt der Forschungsarbeit sind Verfahren zum Nachweis möglicher Resistenzen. Prof. Dr. Ute Neugebauer, Leiterin der Forschergruppe Klinisch-Spektroskopische Diagnostik, behandelt die zuvor identifizierten und isolierten Erreger mit Antibiotika. Je nachdem ob das Bakterium Resistenzen aufweist, unterscheiden sich die anschließend aufgenommenen Spektren von denen, die in einer unbehandelten Kontrollgruppe gemessenen wurden. Neugebauer und ihr Team benötigen für das gesamte Verfahren, von der Probennahme, über die Identifizierung der Erreger bis hin zur Bestimmung der Resistenzen weniger als vier Stunden. Für den behandelnden Arzt bedeutet dies ein Zeitgewinn von bis zu zwei Tagen, um eine fundierte therapeutische Entscheidung fällen zu können.

Gemeinsam mit weiteren Arbeitsgruppen aus dem IPHT sowie mit Partnern aus dem EU-Netzwerk „Hemospec“ konzentrieren sich aktuelle Forschungsarbeiten auf die Automatisierung von Abläufen bei der Probenaufbereitung und der Analyse durch Kombination mit Mikrofluidik und der Linsenlosen Mikroskopie. Im Mittelpunkt steht die Erforschung der Wirtsantwort des Patienten in Folge der Infektion anhand der Untersuchung der weißen Blutzellen und von Serum-Proben.

Die Firma Biophotonics Diagnostics, die jüngste Ausgründung aus dem IPHT, optimiert die Computer-basierte Auswertung der aufgenommenen Spektren. Das Unternehmen entwickelt hierfür Software-Lösungen und Datenbanksysteme und vermarktet diese an Anwender in der Wissenschaft.

Multimodale Bildgebung – Zukunft der klinischen Diagnostik

» Die Unterscheidung zwischen gesundem und pathologisch bösartigem Gewebe, beispielsweise einem Tumor, erfordert von Chirurgen und Pathologen viel Erfahrung. Für die Diagnose wird Gewebe entnommen und angefärbt. Durch die Hämatoxylin-Eosin-Färbung (HE-Färbung) werden Tumore unter dem Mikroskop erkennbar. Bis ein verlässlicher Befund vorliegt, vergehen mehrere Tage.

„Auch wenn es in meinem Labor meist dunkel ist: Am IPHT finde ich optimale Arbeitsbedingungen und eine hervorragende technische Ausstattung. Ich bin eine der ersten Anlaufstellen für viele Kolleginnen und Kollegen, wenn es darum geht neue Methoden und experimentelle Aufbauten für die zeitaufgelöste und nicht-lineare Spektroskopie zu entwickeln.

DR. DENIS AKIMOV

Seit 2008 am IPHT

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Arbeitsgruppe Molekulare Bildgebung

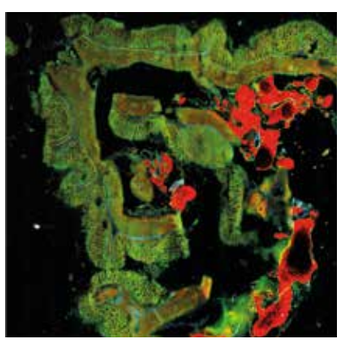
Ich verliere auch im Dunkeln nicht den Überblick.“

Eine schnellere Alternative bietet die multimodale Bildgebung. Im Rahmen des BMBF-geförderten Projektes „Medicars“ haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am IPHT zusammen mit Partnern aus Dresden, Heidelberg, Stuttgart, Konstanz und Jena ein kompaktes Mikroskop für die Gewebediagnostik konzipiert. Damit können Mediziner hochaufgelöste multimodale Bilder von Gewebeproben ohne vorherige Färbung aufnehmen. Erkranktes Gewebe kann eindeutig lokalisiert und gezielt entfernt werden. Im Unterschied zur HE-Färbung können die multimodalen Bilder innerhalb von wenigen Minuten gewonnen werden.

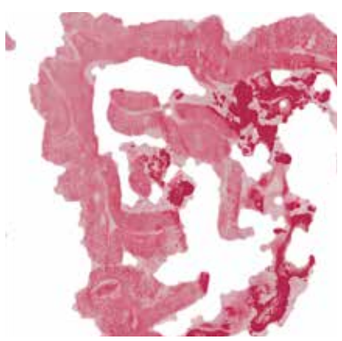
Technologische Grundlage des Medicars Mikroskops ist das bildgebende Verfahren der Kohärenten Anti-Stokes Raman-Spektroskopie (CARS), mit dem verschiedene Gewebetypen anhand des Lipidgehaltes z.B. von Epithel-, Binde- oder Fettgewebe differenziert werden können. Ergänzt wird das Verfahren durch die Zwei-Photonen-Fluoreszenzmikroskopie (TPF) und die Frequenzverdopplung (SHG). Alle drei Kontrastmethoden zusammen liefern sowohl chemische, strukturelle als auch funktionale Informationen über das Gewebe. Die Bilddaten werden digital aufbereitet und virtuell, im Stil eines HE-Bildes, gefärbt.

Aufgrund der kompakten Bauweise des Medicars Mikroskops ist das System für den Einsatz im Operationssaal geeignet. Die Bedienung kann durch eingewiesenes, aber fachfremdes Personal erfolgen. Die Auswertung geschieht operationsbegleitend und liegt dem Chirurg noch während des Eingriffs vor.

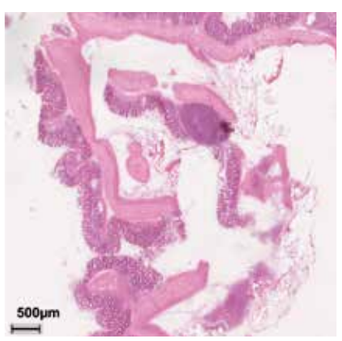
Aktuell arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daran das Systems durch ein faserbasiertes Endoskop zu erweitern. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, Gewebe invasiv, ohne vorherige Biopsie zu diagnostizieren.



A) Hochaufgelöstes multimodales Bild des Dickdarmquerschnitts einer Maus



B) Pseudo-HE gefärbtes Bild abgeleitet aus dem Multimodalbild in A



C) HE-gefärbtes Bild aus dem gleichen Querschnitt wie in A

Raman-Fasersonde für die Identifizierung aterioskleroticher Plaque

» Arteriosklerose und ihre Folgeerscheinungen – Schlaganfall und Herzinfarkt – zählen zu den häufigsten Todesursachen in westlichen Industrienationen. Bei der chronisch fortschreitenden Erkrankung kommt es an den Blutgefäßwänden zu Ablagerungen, Plaque genannt. Ob und wie die Ablagerungen behandelt werden müssen, hängt von ihrer biochemischen Zusammensetzung ab. Bei einer genaueren Kenntnis der Plaque-Zusammensetzung wäre eine bessere Risikoabschätzung möglich. Gefährliche, instabile Plaque könnten genauer diagnostiziert werden.

Bei Standarddiagnoseverfahren bleibt die molekulare und biochemische Zusammensetzung der Plaque unbekannt. Eine genaue Diagnose und individualisierte Therapie wird damit erschwert. Eine Möglichkeit die benötigten Informationen zu erhalten bietet die faserbasierte Raman-Spektroskopie. IPHT-Wissenschaftler Dr. Christian Matthäus, Dr. Iwan Schie und ihr Team konzipieren eine Fasersonde für einen ersten Modellversuch. „Wir konnten zeigen, dass wir mit Hilfe des Lichts während einer Herzkatheter-Untersuchung genaue Informationen über die molekulare Zusammensetzung des Plaques geben können“, so Matthäus.

Auf dem Markt verfügbare faserspektroskopische Sonden sind für den Einsatz als Herzkatheter nicht geeignet, da der Sondenkopf aufgrund integrierter Filter auf einer Länge von 5-6 cm unflexibel ist. Die Gefahr, die filigranen Herzkranzgefäße bei einer Untersuchung zu verletzen, ist zu groß. Daher forschen die Kolleginnen und Kollegen der Abteilungen Spektroskopie / Bildgebung und Faseroptik gemeinsam an einer Lösung, die sowohl den medizinischen als auch den technologischen Ansprüchen gerecht werden kann.

Die IPHT-eigene Entwicklung nutzt Faser-Bragg-Gitter, in den Kern der Faser eingeschriebene periodische Strukturen, anstelle der handelsüblichen Filter. Dieser Ansatz, der die Verwendung des starren Sondenkopfes überflüssig macht, funktioniert nur mit Singlemode-Fasern, also Fasern mit einem kleinen Kern. Das mit solchen Fasern gesammelte Licht ist zu schwach für die Aufnahme eines Raman-Spektrums. Die in diesem Bereich üblichen Multimode-Fasern haben zwar einen Kern mit größerem Durchmesser, aber das eingespeiste Licht kann darin nicht gezielt gefiltert werden.

„Was wir brauchen, sind maßgeschneiderte Fasern, mit denen wir viel Licht sammeln und gezielt filtern können“, so Christian Matthäus. In Multi-Core-Fasern wird das Licht parallel durch mehrere Kerne geleitet und am Ende gebündelt. Für deren Herstellung steht am IPHT eine weltweit nahezu einmalige technologische Ausstattung – von der Materialkunde über alle Stufen des Faserherstellungsprozesses bis zur Charakterisierung – zur Verfügung.

© iStock.com/pixologicstudio

Querschnitt einer am IPHT entwickelten Raman-Sonde (oben)
Plaque-Ablagerungen in einer Arterie behindern den Blutfluss (unten)

Obwohl die Faseroptimierung noch nicht abgeschlossen ist, denkt das IPHT-Team schon einen Schritt weiter. Durch die Kombination von Raman-Spektroskopie und Optischer Kohärenztomografie, OCT, wäre es zukünftig möglich, mit nur einem Instrument chemische Informationen und Informationen über Form und Größe des Plaque zu erhalten.

„Meine Motivation? Ich möchte das Potential der Lab-on-a-Chip Technik für alle Anwender verfügbar machen und so zur Lösung aktueller gesellschaftlicher Probleme beitragen. Kombiniert mit innovativen photonischen Methoden können unsere mikrofluidischen Lab-on-a-Chip Systeme in Zukunft zu einer schnelleren und einfacheren Diagnostik lebensbedrohlicher Krankheitserreger oder zu einer besseren Umweltanalytik beitragen.

DR. THOMAS HENKEL
Seit 1997 am IPHT
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Arbeitsgruppenleiter Mikrofluidik

Interdisziplinäre Forschung in starken Netzwerken

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Zentrum für Angewandte Forschung (ZAF)

» In mehreren Forschungsnetzwerken und Verbünden engagiert sich das IPHT für moderne photonische Gesundheitstechnologien. Angefangen beim Vor-Ort-Nachweis von Krankheitserregern bis hin zur medizinischen Bildgebung werden die Themen von den interdisziplinären Grundlagen bis zur möglichen Anwendungen beim Patienten erforscht.

So beschreitet zum Beispiel der InfectoGnostics Forschungscampus als öffentlich-private Partnerschaft neue Wege in der Infektionsdiagnostik und Infektionsforschung: Partner aus Wissenschaft, Medizin und Industrie arbeiten gemeinsam am ZAF an neuen diagnostischen Lösungsansätzen und entwickeln diese konsequent bis zur Verwirklichung als marktreifes Produkt weiter. Auf diese Weise entstehen Technologien zur schnellen und kostengünstigen Vor-Ort-Analyse (Point-of-Care Testing) von Infektionen in der Humanmedizin, Testsysteme für Tiererkrankungen und für den Erregernachweis in Lebensmitteln. Das BMBF unterstützt das 2013 initiierte Vorhaben über eine Laufzeit von bis zu 15 Jahren.

Darüber hinaus verbindet das IPHT im Forschungsverbund „Leibniz Gesundheitstechnologien“ verschiedene Wissenschaftsdisziplinen mit medizinischen Anwendern und Akteuren aus Wirtschaft, Politik und Gesellschaft. In dem Verbund arbeiten 14 Leibniz-Institute an konkreten technologischen Lösungen für drängende medizinische Fragestellungen in den Bereichen Prävention, Diagnostik und Therapie. Die Forschungseinrichtungen vereinen ihre Kompetenzen: Angefangen bei Photonik und Medizin über Mikroelektronik und Materialforschung bis hin zu Wirtschaftswissenschaften und angewandter Mathematik. Parallel erforscht der Verbund die sozialen und ökonomischen Auswirkungen neuer Technologien, um deren Nutzen für Anwender zu optimieren und eine breite gesellschaftliche Akzeptanz zu schaffen.

Prof. Dr. Markus Schmidt

Teamarbeit

Dr. Jens Kobelke und Dr. Jörg Bierlich sind ein eingespieltes Team, wenn sie aus einem mehrere Zentimeter dicken Glaszylinder – der Preform – eine haarfeine optische Faser ziehen. Sobald sich in 14 m Höhe am Ausgang des 1900 °C heißen Ziehofens ein Tropfen zähflüssiges Glas erst langsam und dann immer schneller zu bewegen beginnt, muss jeder Handgriff sitzen. Dann laufen beide über die engen Treppen des Faserziehturms hinunter, um die entstehende Faser die Ziehstrecke entlang zu führen. Bis diese im Erdgeschoss auf einer Spule aufgewickelt wird, ist das *Timing* zwischen den beiden Technologen entscheidend für das Gelingen des Prozesses. Das Ziehen einer Faser erfordert neben handwerklichem Geschick vor allem viel Erfahrung und Spezialwissen.

Dr. Jens Kobelke und Dr. Jörg Bierlich am Ausgang des Ziehofens

Faseroptik

Von Kow-How und High-Tech

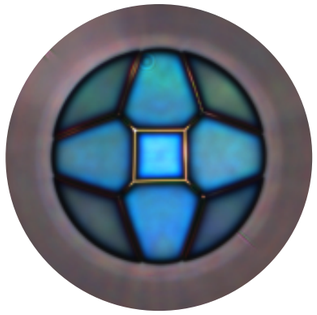
» Jahrzehntelange systematische Forschungsarbeit und ein enormer Erfahrungs- und Wissensschatz sowie eine einzigartige Forschungsinfrastruktur befähigen das IPHT optische Fasern in höchster Qualität zu erforschen, zu entwickeln und herzustellen.

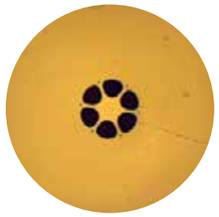
Auf dem Gebiet der Faseroptik kann das IPHT auf ein breites Technologie- und Kompetenzspektrum zurückgreifen, über das in diesem Umfang weltweit nur wenige Einrichtungen verfügen. Die Forschungsarbeiten erstrecken sich entlang der gesamten Wertschöpfungskette: beginnend bei der Materialentwicklung, über die Preform- und Faserherstellung, die Charakterisierung und Modellierung bis hin zur Fasermodifikation und Systemintegration. Diese Vielfalt ist ein wesentliches Alleinstellungsmerkmal des Institutes, welches Projektpartner aus Wissenschaft und Industrie schätzen.

Fasertechnologie und Faseroptik am IPHT

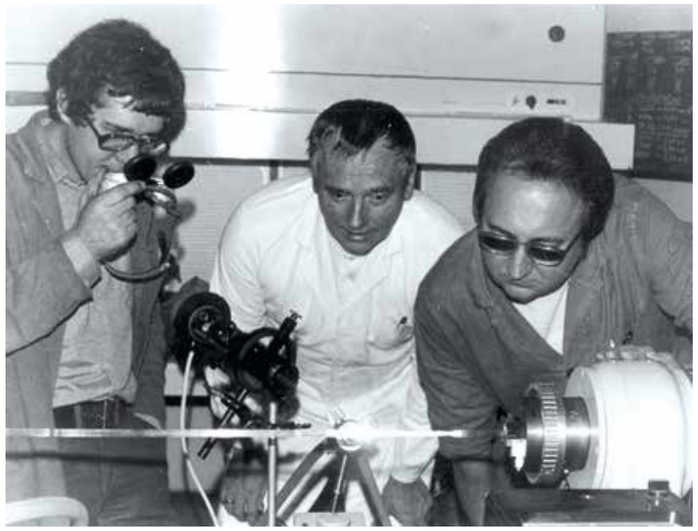
Aufbruch

» Ende der 1970er Jahre begannen Jenaer Forscherinnen und Forscher optische Quarzglasfasern für die Nachrichten- und Kommunikationstechnik zu entwickeln. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an den IPHT-Vorgängerinstituten starteten bei „Null“ und etablierten zunächst geeignete Herstellungstechnologien.

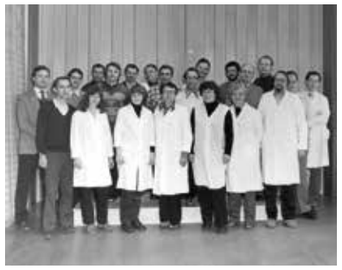




Querschnitte mikrostrukturierter Fasern



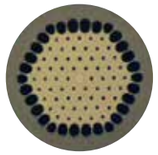
Team der ersten Stunde: Dr. Johannes Kirchhoff und Dr. Peter Kleinert gemeinsam mit dem Glasbläser Horst Sauerteig (v.l.n.r.) an der ersten MCVD-Anlage zur Preformherstellung im Jahr 1978

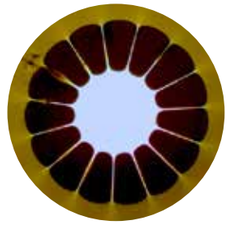


MitarbeiterInnen der Abteilung für Faserherstellung und -charakterisierung vor Institutsgründung

Eine von den Forscherinnen und Forschern in Jena selbst konzipierte Anlage zur modifizierten chemischen Gasphasenabscheidung (MCVD) war Ende der 70er Jahre Ausgangspunkt, um zuverlässig Preformen zum Ziehen von Telekommunikationsfasern herstellen zu können. Ab 1982 ermöglichte ein ebenfalls selbst konstruierter Ziehturm das eigenhändige Verziehen der Preformen zu optischen Glasfasern. Als etwa 10 Jahre später das Institut für Physikalische Hochtechnologie gegründet wurde, war die Entwicklung der Standard-Telekommunikationsfasern weitgehend abgeschlossen und die Technologie an kommerzielle Hersteller übergeben. Im Fokus stand nun die Fertigung optischer Spezialfasern. So wurden für das Herzstück einer neuen Generation von Laserlichtquellen Quarzglasfasern mit Seltenerd-dotiertem Kern benötigt. Um ausreichende Mengen verschiedener Seltenerdionen in die Preformkerne einzubringen, entwickelten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Ingenieurinnen und Ingenieure am IPHT in den folgenden Jahren die Lösungsdotierung in Kombination mit dem MCVD-Prozess erfolgreich weiter. Damit prägten sie die weltweite Entwicklung leistungsstarker Faserlaser, die heute z. B. als hochflexible Werkzeuge für die Be- und Verarbeitung verschiedenster Materialien dienen.

Im ebenfalls bis in die Anfänge des Instituts zurückreichenden Forschungszweig Faseroptische Sensorik gelang es in Pionierarbeit und Dank zielgerichteter Industriekooperationen Mitte der 90er Jahre den ersten faseroptischen Feuchtesensor auf den Weltmarkt zu bringen. Moderne Sensoren nutzen oft Fasern mit speziellen Gitterstrukturen, den Faser-Bragg-Gittern, um Temperatur- und Dehnungsänderungen z. B. in Brücken, Straßen und Hochspannungsleitungen oder großen Bauteilen wie Flugzeugflügeln zu erfassen. Für die industrielle Sensorfertigung suchten Forscherinnen und Forscher lange Zeit nach Verfahren mit denen die Faser-Bragg-Gitter mit hoher Qualität und Quantität in die Faserkerne eingeschrieben werden können. Das Resultat der Arbeiten am IPHT war eine interferometrische Anordnung, mit der ab 1995 Bragg-Gitter unmittelbar und kontaktlos während des Faserziehprozesses eingeschrieben werden konnten.





Heute

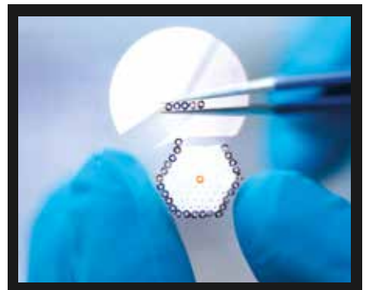
» Neue Anwendungsgebiete wie die medizinische Diagnostik oder die Umweltanalytik stellen hohe Anforderungen an die Struktur optischer Glasfasern und erfordern alternative Herstellungsverfahren.

Institutsdirektor Jürgen Popp; der damalige Thüringer Minister für Bildung, Wissenschaft und Kultur, Christoph Matschie und der Leiter der Abteilung Faseroptik, Hartmut Bartelt bei der Inbetriebnahme des Faserziehturms

Optische Faser beim Austritt aus dem Schmelzofen

Um komplexere und kleinere Strukturen oder besondere Designs realisieren zu können, werden am IPHT die Prozesse zur Preform- und Faserherstellung stetig erweitert und modernisiert. Die Triebkraft zur Erforschung alternativer Herstellungsverfahren ist unter anderem der Bedarf der Industrie nach leistungsstärkeren Faserlasern. Mit dem am IPHT entwickelten REPUSIL-Verfahren können große Chargen hochreinen und gleichmäßig dotierbaren Quarzglases gefertigt werden. Mit dem Verfahren lassen sich Glasfasern mit sehr großen, dotierten Kernen herstellen. Das IPHT erhielt 2012 für die Technologie den Thüringer Forschungspreis im Bereich der Angewandten Forschung. Das inzwischen großtechnisch eingesetzte Verfahren brachten industrielle Kooperationspartner zur Marktreife.

Mit der im Jahr 2009 in Betrieb genommenen 14 Meter hohen Faserziehanlage, können eine Vielzahl von Parametern während des Ziehprozesses kontrolliert und zugleich die Fasern noch während der Herstellung veredelt werden. Von den technischen Möglichkeiten und der Expertise profitiert unter anderem die Weiterentwicklung Mikrostrukturierter Optischer Fasern (MOF). Mit ihren maßgeschneiderten, komplexen Innenstrukturen eignen sich die Spezialfasern als neuartige Lichtquellen sowie für Anwendungen in der Sensorik. Im Forschungsverbund AquaDiva erforscht das IPHT neue faseroptische Sensoren zur kontinuierlichen Parallelbestimmung von biogenen Gasen wie Sauerstoff, Stickstoff und Kohlendioxid zum Beispiel in Bodenproben.



Mikrostrukturierte Optische Fasern (MOF)

Bevor die Fasern gezogen werden können, müssen die Forscherinnen und Forscher in meist stundenlanger Handarbeit die MOF-Preformen aus bis zu 270 Glaskapillaren und / oder Glasstäben zusammensetzen. Die filigranen Innenstrukturen und optischen Eigenschaften der daraus entstehenden MOF ergeben sich erst durch eine ausgeklügelte Einstellung der Parameter während des Ziehprozesses.

Neue Perspektiven

» Wachsende Anforderungen an die optischen Eigenschaften von Spezialfasern bedingen eine Weiterentwicklung der Herstellungsmethoden.

In aktuellen Forschungsprojekten arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daran, die Vorteile der einzelnen Technologien zur Herstellung optisch hochwertiger Gläser und Glasfasern gewinnbringend miteinander zu kombinieren sowie durch neue Verfahren zu ergänzen. Einer der Ansätze verfolgt das Ziel, mit Hilfe eines Mikrowellenplasmas, Glas aus pulverförmigen Ausgangsstoffen herzustellen und zu homogenisieren.

Ein weiterer Schwerpunkt ergibt sich aus dem wachsenden Anwendungsgebiet optischer Glasfasern und den damit verbundenen Anforderungen an deren optischen Eigenschaften. Vor allem für die Sensorik und für neue Lichtquellen werden innovative Glasfaserlösungen für den ultravioletten und den infraroten Bereich des Wellenlängenspektrums benötigt. Herkömmliche Quarzgläser im mittleren Infrarot-Bereich sind für diese Anwendungsbereiche nicht ausreichend transparent. Daher stehen Erforschung und Herstellung alternativer Glasmaterialien für diesen Spektralbereich im Fokus zukünftiger Arbeiten am IPHT.

Richtungsbestimmend ist die Entwicklung immer komplexerer Mikrostrukturierter Optischer Fasern und die Realisierung ihrer maßgeschneiderten Funktionalitäten. Zunehmend setzen die Forscherinnen und Forscher theoretische Modelle und aufwändige Simulationen für den Entwurf, die praktische Umsetzung sowie für das tiefe physikalische Verständnis der Funktionsweise von MOF ein.

Homogenisierung von REPUSIL-Material in einer Mikrowellenplasmaanlage

Gebündelte Kompetenzen

Weitere Impulse erhält das IPHT aus der kontinuierlichen Beteiligung an mehreren regionalen Wachstumskernen und dem Faserkompetenzzentrum. Hier bündeln das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, das Leibniz-IPHT und die FSU sowie lokale industrielle Partner vorhandene Kompetenzen auf dem Gebiet der Fasertechnologie, um die Entwicklungen gezielt am Bedarf der Region auszurichten. Das Faserkompetenzzentrum ermöglicht die gesamte Prozesskette für die Entwicklung und Bereitstellung von Hochleistungsfasern und faser-optischen Komponenten zu erforschen; verbunden mit neuen Konzepten der Aufbau- und Verbindungstechnik, vom Design bis zur Integration.

„Meine Kolleginnen und Kollegen, mit denen ich jeden Tag zusammenarbeite, sind für mich wie eine große Familie. Jeder einzelne hat verschiedene Kompetenzen und Aufgabenbereiche. Durch unsere intensive Teamarbeit können wir diese optimal nutzen, um die gesamte Technologiekette für die Herstellung von optischen Gläsern und Glasfasern zu erschließen. So gelingt es uns, eine enorme Vielfalt von innovativen optischen Glasfasern für unterschiedlichste Anwendungen in Industrie und Forschung herzustellen.

ANKA SCHWUCHOW

Seit 1994 am IPHT

Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Arbeitsgruppe Optische Fasertechnologien

Mit Teamwork schaffen wir etwas Einzigartiges.“

Mikro- und Nanotechnologien

Vom Reinraum in die Sensorik

» Seit über 25 Jahren bilden die Mikro- und Nanotechnologien am IPHT das technologische Grundgerüst für die Erforschung und Entwicklung innovativer Verfahren und Systeme in den gesellschaftlich wichtigen Bereichen Gesundheitswesen und Medizin, Umweltwissenschaften und Sicherheit. Ein wesentlicher Teil dieser Technologien hat seinen Ursprung im Reinraum des IPHT.

Die mikrotechnologischen Prozessabläufe wie Design, Vakuumbeschichtung, Lithografie, Ätzen, Charakterisierung, Verkapselung ähneln grundsätzlich denen der milliardenschweren und hochspezialisierten Halbleiterindustrie. Jedoch stehen am IPHT die Entwicklung von Dünnschichtsensoren und Mikrostrukturen aus halbleitertechnologisch untypischen Materialien wie Gold, Silber, Niob, Titan oder Glas und spezielle Techniken für mikrofluidische Bauelemente im Vordergrund. Unsere Stärke liegt in der Vielzahl unterschiedlicher Lösungsansätze für immer kompaktere, integriertere und multifunktionalere Sensor- und Detektordesigns mit Schwerpunkten in der Strahlungssensorik und Biophotonik.

Genau wie in der Halbleiter-Industrie werden mit Hilfe von *top-down* Verfahren Strukturen bis in den Nanometerbereich verkleinert. Dabei gelingt es heute, metallische Nanostrukturen, deren Strukturgrößen der ebenfalls am IPHT erforschten und durch *bottom-up* Prozesse gewonnenen Nanopartikeln entsprechen, milliardenfach und wohlgeordnet auf Waferlevel zu erzeugen. Für neue Sensorik und Detektionsverfahren sollen diese *top-down* Verfahren zukünftig mit *bottom-up* Prozessen kombiniert werden.

Mitarbeiterin an der ALD-Anlage

© Ostthüringer Zeitung/Tino Zippel

Prof. Dr. Hans-Georg Meyer und Präsident der Leibniz-Gemeinschfat Prof. Dr. Matthias Kleiner an der Terahertz-Kamera

Dünne Schichten für hochempfindliche Sensoren

» Die Sensoren aus dem IPHT-Reinraum haben vielfältige Einsatzgebiete in hochempfindlichen Messgeräten wie der passiven THz-Kamera für Sicherheitsanwendungen, thermoelektrischer IR-Temperatursensoren für den Mars-Rover Curiosity und in Instrumenten für das ESO-Radioteleskop APEX in Chile.

Forscherinnen und Forscher des IPHT nutzen das Verfahren der Atomlagenabscheidung (ALD, engl. Atomic layer deposition) zur Erzeugung ultradünner und präzis dimensionierter dielektrischer Schichten. Während des plasmagestützten Prozesses lagern sich wechselseitig und selbstlimitierend Monolagen von Precursormaterialien auf der Waferoberfläche an. Auf diese Weise entstehen wenige Atomlagen dicke, defektfreie und homogene oxidische und nitridische Schichten. Sie bilden unter anderem die Basis von Einzelphotonendetektoren und finden in Form freistehender und strukturierter Membranen Anwendung bei der Herstellung hochempfindlicher und stabiler Strahlungssensoren für den Infrarot- und Terahertz (THz)-Spektralbereich.

Die THz-Strahlungssensoren aus dem IPHT-Reinraum verbergen sich hinter dem großen Spiegel in dem Detektor der passiven Sicherheitskamera. Indem sie bis auf weniger als ein Grad Celsius über den absoluten Nullpunkt gekühlt werden, können die empfindlichen Sensoren selbst kleinste Unterschiede der Wärmestrahlung wahrnehmen. Das Prinzip, welches sonst Astronomen zur Messung der Infrarot-Strahlung des Weltraums dient, nutzen die IPHT-Wissenschaftler für die Erforschung eines innovativen Körperscanners. Diese THz-Sicherheitskamera ist eine gesundheitlich und ethisch unbedenkliche Alternative zu den kontrovers diskutierten „Nacktscannern“, die zur Sicherheitskontrolle an Flughäfen eingesetzt werden.

Im Unterschied diesen Scannern und aktiven THz-Kameras misst das IPHT-System passiv die körpereigene THz-Strahlung. Gegenstände mit Gefährdungspotential – wie z. B. Waffen oder Sprengstoffpakete – welche am Körper getragen werden, verursachen einen verdächtigen Schatten auf dem erfassten Strahlungsbild. Weltweit gibt es kein weiteres Institut, welches auf diesem Gebiet vergleichbare Ergebnisse vorweisen kann.

Für die herausragende Forschungsarbeit an der THz-Sicherheitskamera erhielten die Mitarbeiter der Abteilung Quantendetektion den Thüringer Forschungspreis 2009.

Meilensteine in der IPHT-Reinraumtechnik

1991-1993

Der Beginn

Reinraum mit horizontaler Luftströmung im heutigen Lasertechnikgebäude

Von ca. 60 m² Laborfläche waren 40 m² für Lithographie und 20 m² für Nasschemie vorgesehen.

Die Beschichtungs- und Ätzanlagen waren in anderen Laboren untergebracht.

Reinraum bis 1993

Reinraum 1995

1993-1995

Errichtung des Reinraum-Gebäudes

Errichtung und Inbetriebnahme des Reinraumgebäudes, welches gemeinsam mit dem Institut für Angewandte Physik (IAP) der FSU Jena genutzt wird.

Es stehen ca. 360 m² Laborfläche mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung der Luft zur Verfügung.

Die gesamte Technologiekette bestehend aus Beschichtung, Lithografie, Ätzen und Charakterisierung erfolgt unter definierten Reinraumbedingungen.

2008 bis 2011

Sanierung des Reinraum-Gebäudes und Technologie-Erneuerung durch EFRE-Invest und BMBF-Mittel

Sanierung und Umbau des Reinraumgebäudes zu einem 2-etagigen Reinraum mit energieeffizientem Betrieb

Erweiterung der Laborfläche auf ca. 700 m²

Reinraum heute

„Mich inspiriert es jeden Tag aufs Neue, in einem der modernsten Forschungsreinräume Deutschlands technologische Lösungen zu schaffen, mit denen wir immer kleinere und komplexere Strukturen im Mikro- und Nanometerbereich erzeugen können. Es sind die winzigen, für das Auge unsichtbaren, Details mit denen wir innovative Verfahren und Instrumente verwirklichen.

DR. UWE HÜBNER

Seit 2000 am IPHT

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Arbeitsgruppenleiter Mikro- und Nanotechnologie

Für mich zählen kleinste Details.“

Fortschritt der Technologien und Verfahren

1991-1994

Die vorhandene Ausrüstung besteht aus Kontakt- und Projektionslithographieanlagen, einem Patterngenerator, Belackungs- und Nassätztechnik, Sputteranlagen, Ionenstrahlätzanlagen und Anlagen zum reaktiven Ionenätzen (RIE).

Ausrüstung ist ab 1993 geeignet 100-mm Wafer zu bearbeiten.

Mittels Fotolithografie werden Mikrostrukturen bis zu 5 µm routinemäßig erzeugt.

Aufbau der technologischen Basis für kryoelektronische Dünnschicht-Bauelemente

Belacken einer 100 mm Siliziumscheibe

1995-2008

Mittels Fotolithographie werden Mikrostrukturen bis zu 2 µm routinemäßig erzeugt.

Durch Elektronenstrahllithografie (LION-Anlage) ist sub-100 nm Strukturierung möglich.

Herstellung eigener Masken für Fotolithographie und Mitnutzung der Elektronenstrahllithographie des Instituts für Angewandte Physik (ZBA 21) durch IPHT Mitarbeiter

Prozessentwicklung für das Ionenstrahl- und Reaktivätzen von Metallen und Dielektrika

Entwicklung der Hartstoffmaskentechnologie für die Strukturierung von SQUID-Sensorelementen im Submikrometerbereich

Beschichtungstechnologien und RIE zur Herstellung Niob-basierter Niedrigtemperatursupraleiter (LTS)-SQUIDs und Spannungsnormale

Herstellung keramischer Hochtemperatursupraleiter (HTS)-Josephson-Kontakte durch Schichtabscheidung und Ionenstrahlätzen

Entwicklung einer Herstellungstechnologie für planare Wellenleiter in FHD-Oxid-Schichten (Flamm Hydrolyse Deposition) und Strukturierungen in Quarzglas zur Herstellung optischer Gitter

Entwicklung eines Verfahrens (anodisches Verbonden) zum Zusammenfügen mikrostrukturierter Glassubstrate zu Bauelementen für mikrofluidische *Lab-on-a-Chip* (*LOC*) Systeme

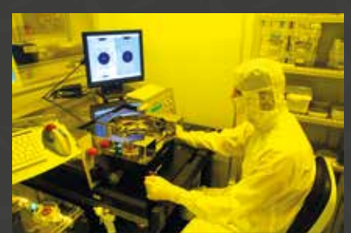
Beschichtungslabor für kryoelektronische Sensoren

Ionenstrahlätzanlage

Waferstepper 2006

Spin-Coater zur Resist-Beschichtung

Waferstepper ab 2006



Arbeit am Anodischen Bonder

2008-2011

Umfangreiche Erneuerung und Modernisierung der technologischen Ausrüstung und Infrastruktur mit EFRE-Mitteln

Beschichtungs- und Ätzanlagen, Technologietools und Nanostrukturcharakterisierung sind geeignet für 150-mm Wafer.

Mitnutzung der neuen Elektronenstrahlbelichtungsanlage (SB350 OS) am Standort Fraunhofer IOF

Neue Beschichtungsverfahren für die oberflächenkonforme Schichtabscheidung (Atomlagenabscheidung-ALD)

Abscheidung von Membranschichtsystemen für mikroelektromechanische Systeme (MEMS) durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD)

Neue Ätztechnologien für Metalle, Silizium und Glas mittels ICP-Plasmaätzer mit reaktiven Gasen

Entwicklung von Aufbau- und Verbindungstechnologien für Chip-Bauelemente

2011 bis heute

Neue Blendentechnologie der Elektronenstrahlanlage (SB350 OS) ermöglicht großflächige Nanostrukturierung auf Waferlevel

Standardmäßige Erzeugung von Strukturen mit 200 nm Periode und Nanostrukturen bis 50 nm

ALD-Technik erweist sich als Enabling-Technologie zur Erzeugung extrem dünner und defektfreier Schichten z. B. für supraleitende Einzelphotonendetektoren.

ALD-Beschichtungsanlage

Anwendungsfelder der Reinraumtechnologien

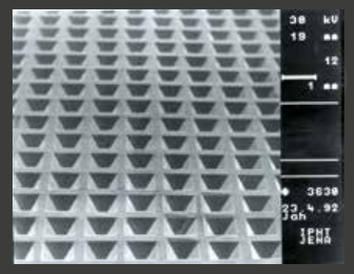
1991-1994

Herstellung von Thermosensoren mit bis zu 72 Dünnschichtthermoelementen für die IR-Sensorik

Erste Technologien zum Tiefenätzen von Silizium und Glas zur Herstellung von Biochips und für die Mikrofluidik

Herstellung erster LTS-SQUIDs und Spannungsnormale mittels Beschichtungstechnologien und RIE

Erste funktionstüchtige HTS-Bauelemente für Josephson Arrays und SQUIDs mittels Schichtabscheidung und Ionenstrahlätzen



Silizium-Kammer-Arrays für die kombinatorische Chemie

Metall-Mikrobrücken

1995-2008

Kryoelektronische Multilagen-Schaltkreise mit bis zu 14 Ebenen für ultrasensitive und feldtaugliche Magnetfeldmessungen

Herstellung membranbasierter Sensoren für die THz-Detektion

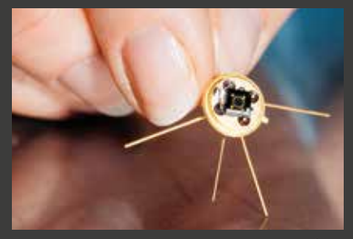
Zeilensensoren mit 2560 Thermoelementen pro Chip für die IR-Sensorik

Herstellung mikrofluidischer Fluss-Sensoren und LOC-Systeme für DNA-Vervielfältigung (PCR-Chips)

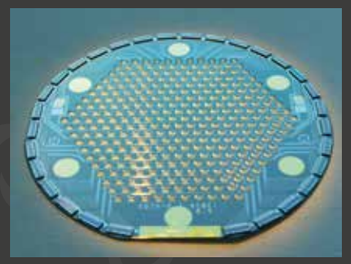
Erzeugung von Wellenleitern und photonischen Kristallen für die planare Mikro- und Nanooptik

Herstellung von Kalibriernormalen für die Deep-UV Mikroskopie

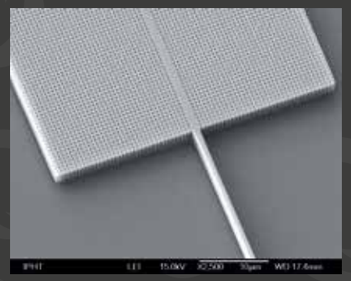
Grundlagenforschung im Bereich von QuBits



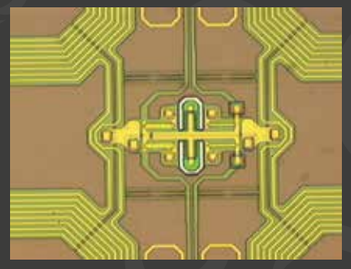
Innenansicht eines Thermosensorelements für die Raumfahrt



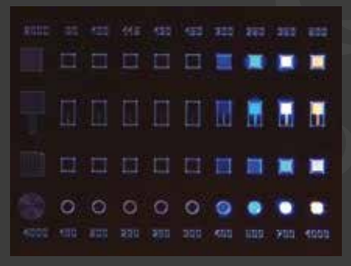
Wafer für die THz-Stralungsdetektion



Photonische Kristallstruktur in Ta_2O_5 / SiO_2



Zentralbereich eines LTS-SQUID



Kalibrierstruktur für die DUV-Mikroskopie (Perioden bis 160 nm)

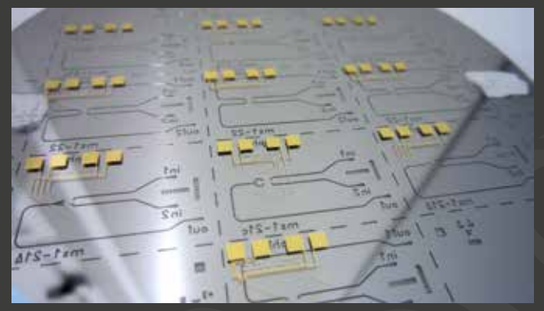
2011 bis heute

Institutsübergreifende Entwicklungsarbeiten zur biophotonischen Sensorik, zu Einzelphotonendetektoren und zu neuen MEMS-Verfahren (*Surface Micro Machining-SMM*)

Herstellung optischer Metamaterialien und plasmonischer Substrate für oberflächenverstärkte Molekülspektroskopie

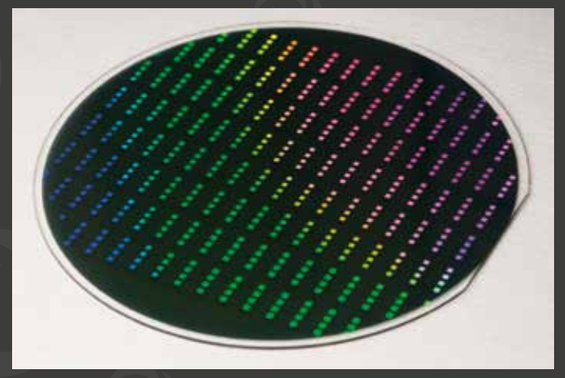
Herstellung mikrofluidischer Dielektrophorese-Chipsysteme für die Raman-Spektroskopie

Herstellung mikrooptischer Bauelemente für die linsenlose Mikroskopie und abbildende Multilevel-Gitter für die Spektroskopie

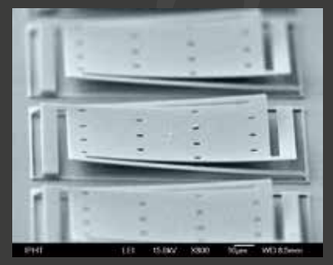


Mikrofluidische Dielektrophorese-Chipsysteme

Mikrofluidik-Chip



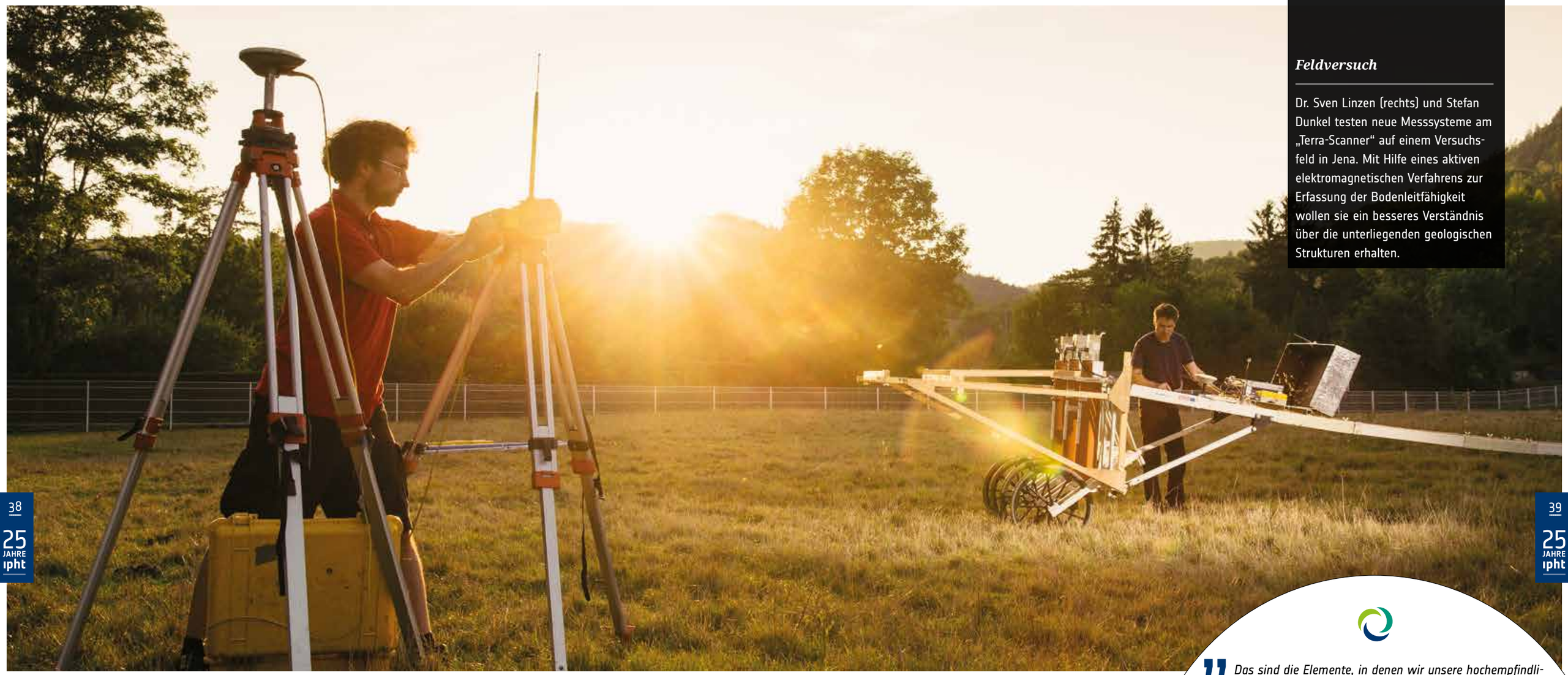
100 mm Wafer mit 250 nm Gitter für die oberflächenverstärkte Molekülspektroskopie



Beispiel für SMM-Membran-Technologie

Detail des Wafers oben, plasmonische Strukturen aus Silber

Planare Spule für Einzelphotonendetektion



Feldversuch

Dr. Sven Linzen (rechts) und Stefan Dunkel testen neue Messsysteme am „Terra-Scanner“ auf einem Versuchsfeld in Jena. Mit Hilfe eines aktiven elektromagnetischen Verfahrens zur Erfassung der Bodenleitfähigkeit wollen sie ein besseres Verständnis über die unterliegenden geologischen Strukturen erhalten.

SQUIDs

Tieftemperatur-Supraleiter für hochauflösende Kartierung

» Ein Jeep mit Anhänger fährt über das weite, dünnbesiedelte Orchon-Tal in der zentralmongolischen Steppe, wo sich vor etwa 800 Jahren die Hauptstadt und das Zentrum des mongolischen Reiches – Karakorum – befand. Die von Dschingis Khan gegründete Stadt mit ihren Wohnhäusern, Werkstätten, Basaren und heiligen Stätten wurde bereits nach rund 160 Jahren zerstört. Heute ist die Stadt, die einst Menschen unterschiedlicher Kulturen und Religionen zusammenbrachte, UNESCO-Weltkulturerbe. Ein Team von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern rekonstruiert mit Hilfe geophysikalischer Messungen und archäologischer Ausgrabungen das einstige Leben in der schon früh besiedelten Region.

Auf der anderen Seite des Globus, in Thüringen, bereitet ein Pilot früh am Morgen seinen Helicopter für den Start vor. Er fliegt eine Messsonde in nur 30 Meter Höhe über den Erdboden, um magnetische Anomalien in der Erdkruste aufzuspüren. Anhand dieser magnetischen Signale können Geowissenschaftler Rohstoffvorkommen ausfindig machen und anschließend räumlich darstellen.

In Finnland stapft bei minus 40 °C eine Gruppe Geowissenschaftler durch den Schnee zu einem Gebiet, in dem sie etwa einen Kilometer unter der Erdoberfläche Erzvorkommen vermuten. An bestimmten Punkten im Gelände positionieren sie Messinstrumente auf dem Boden mit deren Hilfe sie die genaue Lage leitfähiger geologischer Strukturen erkunden können.

Bei allen Einsätzen mit dabei: SQUIDs (Superconducting QUantum Interference Devices) aus dem IPHT, die zu den weltweit empfindlichsten Magnetfeldsensoren gehören.

„Das sind die Elemente, in denen wir unsere hochempfindlichen Magnetfeldsensoren einsetzen. Mich fasziniert es, die technologischen Hürden zu überwinden, die jedes Einsatzgebiet an unsere Technik stellt. Dafür begleite ich die Entwicklung neuer Sensoren von der Grundlagenforschung bis hin zum ersten Feldeinsatz im kompletten Messsystem. Mit den neuen Instrumenten suchen wir nach Spuren aus unserer Vergangenheit, nach Minerallagerstätten und den kleinsten Teilchen im Mikrokosmos.

DR. RONNY STOLZ

Seit 1995 am IPHT

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Forschergruppenleiter Magnetometrie

Ich forsche an Land, zu Wasser und in der Luft.“

Messkampagne in der Mongolei 2010

Auf den Spuren von Dschingis Khan und Karl dem Großen

» In der Archäologie spielen geophysikalische Untersuchungsmethoden eine zunehmend größere Rolle. Mit Hilfe von SQUID-basierten Instrumenten sind im Boden verborgene Strukturen hochauflösend nachweisbar. Die Signale stammen unter anderem von gebrannten Lehmziegeln, Feuerstellen oder von Zersetzungsprodukten aus Holzpfosten. Zur Kartierung eines mehrere Hektar großen archäologischen Areals benötigte man mit herkömmlichen Handmessgeräten Monate oder gar Jahre. Einen alternativen Ansatz verfolgte das IPHT mit der Erforschung und Entwicklung eines motorisierten SQUID-Messsystems, um große Flächen innerhalb weniger Tage untersuchen zu können. Als Grundlage dienten Sensoren und Elektronik der flugfähigen SQUID-Systeme. Nach vier Jahren Forschungsarbeit, kam 2005 das System erstmals bei einer geomagnetischen Erkundung in Peru zum Einsatz. Das Verfahren eignet sich sowohl zur Kartierung archäologischer Areale als auch zur Rohstofferkundung sowie zur Baugrund- und Altlastenuntersuchung.

Im BMBF-Verbundprojekt „Geoarchäologie in der Steppe – Zur Rekonstruktion von Kulturlandschaften im Orchon-Tal, Zentrale Mongolei“ konnte der Terra-Scanner seine Alltagstauglichkeit unter Beweis stellen. Innerhalb von zwei Messkampagnen zwischen 2009 und 2010 haben die Wissenschaftler über ein Dutzend Areale mit einer Gesamtfläche von 300 Hektar magnetisch kartiert. Erstmals wurden so Details ausgedehnter Stadtanlagen sichtbar gemacht. Das magnetische Abbild zeigt Fundamente einfacher Häuser und aufwändiger Paläste, präzise angelegte Straßen- und Entwässerungssysteme sowie Öfen in Handwerksbezirken zur Metallurgie und Keramikherstellung. Aufgrund der umfangreichen Daten waren die Archäologen in der Lage, die Bedeutung des über 100 Kilometer langen Orchon-Tals als kulturellen Schmelztiegel genauer zu untersuchen. Ein aktuelles Folgeprojekt mit der Universität Bonn widmet sich der vollständigen magnetischen und topologischen Vermessung und Modellierung der ehemaligen Hauptstadt des Mongolenreiches „Karakorum“ mit einer geplanten Messfläche von 550 Hektar.

Das Thüringer Becken als Geophysikalisches Freiluftlabor

» Rund 1.000 km² des Thüringer Beckens wurden seit 2010 mit Hilfe Jenaer SQUID-Sensoren geomagnetisch erkundet. Zum Einsatz kommt hierbei das weltweit erste luftgestützte System zur tiefen elektromagnetischen Exploration, genannt JESSY STAR. Das vom BMBF und Freistaat Thüringen geförderte Vorhaben INFLUINS erforscht unter anderem die Bewegung von Flüssigkeiten und Gasen in bis zu 600 Meter Tiefe. Nur per Hubschrauber, der die Messsonde schleppt, war es möglich magnetisierbare geologische Strukturen im Untergrund des ausgedehnten Forschungsareals aufzuspüren. Die Strukturen liefern direkte und indirekte Hinweise auf Vorkommen von Mineralien, Flüssigkeiten oder Gasen, indem sie minimale Veränderungen im Erdmagnetfeld nachweisen. Die SQUID-Sensoren erfassen diese Magnetfeldunterschiede – selbst in einer durch technische Geräte gestörten Umgebung. Die luftgestützten Magnetfeldsensorsysteme des IPHT werden seit Ende der 90er Jahre für geophysikalische Erkundungen eingesetzt. Die technologische Basis dafür ist ein passendes Sensor-Layout, eine geeignete Störfeldkompensation und neue Elektronikentwicklungen, die eine hohe Dynamik und Auslesegeschwindigkeit ermöglichen.

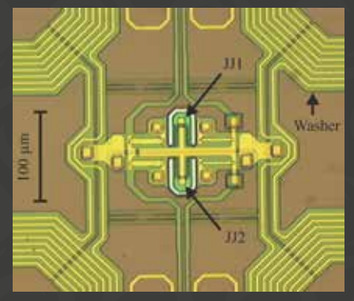
Für die Forschungsleistung zu JESSY STAR gewannen die IPHT-Forscher im Jahr 2007 den angesehen Mining Research Award. Bis heute flog das Messystem mehr als 100.000 Kilometer. Gegenwärtig arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an einer Weiterentwicklung des Systems zur multisensoriellen Erkundung sehr tief liegender Rohstoffvorkommen sowie einer Unterwasserplattform für die Instrumente.

Vorbereitung für den Einsatz von JESSY STAR im Thüringer Becken

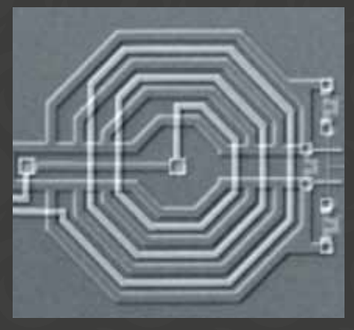
Entwicklungen am IPHT

Nach der Verfügbarkeit flüssigen Heliums sowie der Entdeckung supraleitender Materialien und der Josephson-Effekte entwickelten Wissenschaftler in den Ford-Laboratorien (USA) 1963 die ersten SQUID-Sensoren. Bereits wenige Jahre später wurden sie erstmals zur Aufzeichnung des Herzmagnetfeldes eines Menschen genutzt. Die Geschichte der Jenaer SQUIDs reicht bis in das Jahr 1968 zurück und ist eng mit der Erforschung von supraleitenden Materialien an der Friedrich-Schiller-Universität Jena verbunden. Anfangs wurden die haarfeinen Strukturen der SQUIDs noch von Hand unter dem Mikroskop gekratzt. Mit der Etablierung geeigneter Nanotechnologien und der Elektronenstrahl-Lithographie im ersten Reinraum Jenas, konnten ab den 70er Jahren hochempfindliche SQUIDs in Dünnschichttechnologie hergestellt werden. Im Gegensatz zu ihren Vorgängern besaßen diese reproduzierbare Eigenschaften.

Den Forscherinnen und Forschern am IPHT ist in den vergangenen 25 Jahren die Integration der SQUIDs in hochsensitive und kompakte Messsysteme gelungen, die über viele Arbeitsstunden zuverlässige Daten liefern. Entscheidend für diesen Erfolg war die Fertigstellung eines modernen Reinraums auf dem Beutenberg-Campus im Jahr 1995, in dem die Dünnschicht- und Lithographietechniken für den Aufbau und die Integration der SQUIDs weiterentwickelt wurden. Mit diesen Verfahren lassen sich heute SQUIDs mit Strukturen kleiner als ein Mikrometer erzeugen. Diese ermöglichen Magnetfeldmessungen mit geringem Rauschen und einer extrem hohen Magnetfeldauflösung: etwa acht Größenordnungen empfindlicher als das Erdmagnetfeld.



Mikroskopie-Aufnahme des Zentralbereichs eines Tieftemperatursupraleiter-SQUIDs mit 3 x 3 µm² Fensterkontakten aus dem Jahr 1998



Magnetometer mit 0,8 x 0,8 µm² Kreuzkontakten

Von der Photovoltaik zur Biophotonik

» Die ersten Versuche zur Laserkristallisation von Silizium fanden wenige Jahre nach Institutsgründung im Forschungsbereich Angewandte Lasertechnik statt. Seitdem erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler diese Technologie, mit der die weltweit ersten multikristallinen Silizium-Dünnschichtsolarzellen auf Glasträgern erzeugt wurden, entlang der inhaltlichen Ausrichtung des Instituts weiter.

Die dünnen, teilweise mit Nanodrähten funktionalisierten Schichten aus Silizium finden sich heute in innovativen Photovoltaiksystemen, in der Sensorik und als Elektrodenmaterial in neuartigen Batterien wieder. In den vergangenen fünf Jahren entwickelten sich Nanodrähte und Nanopartikel aus Silizium zu nützlichen Werkzeugen in der biomedizinischen Bildgebung. Mit ihnen können Krebszellen sichtbar gemacht und mit Hilfe von Ultraschall zerstört werden. Die Evolution der Technologien und Anwendungen zeigen ausgewählte Forschungsprojekte der vergangenen 25 Jahre.

Laserkristallisiertes Silizium

11 / 1994 – 12 / 1998

Präparation von grobkörnig-polykristallinen Dünnschichten für Solarzellen aus Silizium (BMFT-Projekt)

Verfahrensentwicklung zur Gasphasenabscheidung und Kristallisation von Silizium auf Glasträgern

Am IPHT wird weltweit erstmals durchgängig grobkristallines Silizium mit guten elektrischen und optoelektrischen Eigenschaften für Dünnschichtsolarzellen auf Glas mit einer Fläche bis 2 x 2 cm hergestellt.

Dr. Gudrun Andrä arbeitet an der Anlage zur plasmaverstärkten Gasphasen-Abscheidung von Silizium

01 / 1999 – 12 / 2002

Dünnschichtsolarzellen aus laserkristallisiertem Silizium auf Glas (BMBF-Projekt)

Weiterentwicklung der Kristallisationsprozesse zur reproduzierbaren Erzeugung einer Keimschicht für das epitaktische Aufwachsen des weiteren Solarzellen-Schichtsystems

Am IPHT wird die weltweit erste Solarzelle aus laserkristallisiertem Silizium auf Glas hergestellt.

Kristallstruktur und -orientierung in einer laserkristallisierten Siliziumschicht

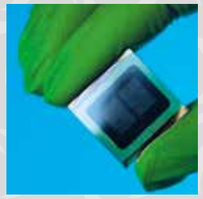
01 / 2003 – 04 / 2007

Multikristalline LLC-Silicium-Dünnschichtsolarzellen auf Niedertemperaturglas (BMWi/BMU-Verbundprojekt mit ErSol AG)

Elektronenstrahlbeschichtung als alternatives Verfahren zur Abscheidung von amorphem Silizium

Ein leistungsstarkes Diodenlasersystem mit Linienstrahl ermöglicht Silizium-Kristallkeimschichten mit größeren Kristallkeimen auf Glasträgern bis 5 x 5 cm.

Herstellung von Silizium-Dünnschichtsolarzellen mit industrierelevanten Verfahren



LLC Solarzelle

01 / 2008 – 12 / 2010

HIGH-EF – Grobkörnige, belastungsarme multikristalline Silizium-Dünnschichtsolarzellen auf Glas mittels eines neuartigen kombinierten Diodenlaser- und Festphasenepitaxieprozess (EU-Projekt, IPHT als Koordinator)

Glassubstrate mit laserkristallisierten Keimschichten bis 10 x 10 cm können mit amorphem Silizium beschichtet und zugleich mit Bor oder Phosphor dotiert werden.

Optimierung eines industriellen Verfahrens zur Herstellung von Siliziumsolarzellen

02 / 2009 – 02 / 2011

SolLux – Optische Technologien für die nächste Generation Silizium Dünnschicht Photovoltaik, Teilprojekt Laser Rekristallisation von Si-Schichtsystemen auf Glas für hocheffiziente Dünnschichtsolarzellen (Thüringen)

Herstellung effizienterer Dünnschichtsolarzellen mit 5 bis 10 µm Dicke

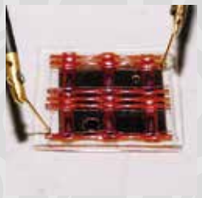
Diodenlaser (Firma LIMO) mit Linienstrahl zur Silizium-Kristallisation

10 / 2011 – 09 / 2013

TexSiSolar – Textile Silizium-Solarzellen auf Glasfaserverbundsystemen (Thüringen/TAB)

Entwicklung der Materialbasis und der Herstellungstechnologie für Silizium-Dünnschicht-Solarzellen auf Glasfasergewebe

Herstellung laserkristallisierter Silizium-Solarzellen auf Textilien mit patentierter Verschaltung



Textile Solarzelle

01 / 2013 – 12 / 2014

OptiSolar – Steigerung von Zuverlässigkeit und Wirkungsgrad mittels Optimierung kritischer Grenzflächen in Silizium-Solarzellen (Forschergruppe/Thüringen/TAB)

Erste Hybrid-Dünnschicht-Solarzelle mit PEDOT:PSS-Emitter auf einem multikristallinen Silizium-Dünnschichtabsorber hergestellt (Rekordwirkungsgrad von 10,9 %)

Silizium-Polymer-Hybrid-Solarzelle

Laufende Projekte

Entwicklung kristalliner Si-Dünnschichtsolarzellen für die beidseitige Beleuchtung (TAB-Forschergruppe *Bi-PV*)

Herstellung von thermoelektrischen Schichten auf Basis von Silizium-Nanopartikeln auf Textilien (ZIM AiF-Projekt *TerSiTex*)

Kristalle züchten mit dem Laser – ein IPHT-Patent

Bei der Herstellung herkömmlicher Solarzellen aus etwa 200 Mikrometer dicken Siliziumwafern werden große Mengen wertvolles Reinstsilizium vergeudet, da die effektive Wandlung von Licht in Strom nur an der einige zehn Mikrometer dicken Waferoberfläche stattfindet. Als kosten- und umweltschonende Alternative eignen sich Solarzellen aus sehr dünnem multikristallinem Silizium. Zur Kristallisation muss das Silizium bei über 1400 °C geschmolzen werden. Glas als preiswertes Trägermaterial für Solarzellen ist nur bis 600 °C temperaturstabil. Um dennoch Glasträger nutzen zu können, entwickelten Forscherinnen und Forscher am IPHT ein neues Laserkristallisationsverfahren, das die Herstellung von Dünnschichtsolarzellen ermöglichte.

In den Anfangsjahren des Instituts wurde zur Herstellung der dünnen multikristallinen Siliziumschichten eine bis zu 500 Nanometer dicke Schicht amorphen Siliziums mittels plasmaverstärkter Gasphasenabscheidung oder Elektronenstrahlbedampfung auf einem Träger aus Glas abgeschieden. Anschließend erzeugte ein Laserstrahl aus dem amorphen Silizium eine dünne kristalline Schicht aus einigen 100 Mikrometer bis wenige Millimeter lange Kristallkörner. Diese kristallisierten Schichten wurden als Keimschichten für das Aufwachsen des weiteren Solarzellen-Schichtsystems genutzt.

Mit dem Ende der 90er Jahre entwickelten und patentierten Verfahren der *Layered Laser Crystallization* (*LLC*) gelangen Abscheidung und Kristallisation in einem Arbeitsschritt. Im Zuge der technologischen Weiterentwicklung konnten dickere Siliziumschichten mit einem kontinuierlichen Laserstrahl kristallisiert und gleichzeitig mit weiteren chemischen Elementen dotiert werden. Da der Laserstrahl das Silizium lediglich für wenige Tausendstel einer Sekunde aufschmilzt, bleibt der darunterliegende Glasträger bei diesem Verfahren unbeschadet.

Silizium-Nanodrähte

04 / 2005 – 03 / 2007

Vertikale, verspannte eindimensionale Silizium Nanostrukturen und Bauelemente (Auftrag der FSU Jena/DFG)

Untersuchungen zur thermischen und plasmaverstärkten Gasphasenabscheidung von Silizium-Nanodrähten auf einem Goldnanopartikel-strukturiertem Glasträger

Am IPHT werden weltweit erstmals Dünnschicht-Solarzellen aus Silizium-Nanodrähten hergestellt, die im Vergleich zu Zellen aus geschlossenen Dünnschichten eine perfekt einkristalline Struktur aufweisen und das Sonnenlicht nahezu vollständig einfangen.

Dr. Silke Christiansen und Dr. Fritz Falk veröffentlichen einen Artikel über Silizium-Nanodraht-Solarzellen, der zu dieser Zeit einer der am meisten zitierten und heruntergeladenen Artikel der Fachzeitschrift Nanotechnology ist. Er beschreibt die Herstellung von Silizium-Nanodraht-Solarzellen auf Silizium-Wafern und multikristallinen Silizium-Dünnschichten auf Glas mit der VLS-Methode. (Th. Stelzner et al. Nanotechnology 2008)

08 / 2008 – 12 / 2011

HyPoSolar – Hybridsolarzelle aus halbleitenden Polymeren und Si-Nanowirestrukturen (BMBF-Projekt)

Herstellung von Hybrid-Solarzellen aus photoaktiven Polymeren und Silizium-Nanodrähten

01 / 2009 – 12 / 2011

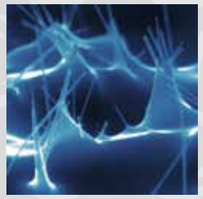
ROD_SOL – Voll-anorganische, Nanodraht-basierte Dünnschichtsolarzellen (FP7 EU-Verbundprojekt/IPHT als Koordinator)

Entwicklung eines Ätzverfahrens (*top-down*) zur Herstellung von Silizium-Nanodrähten für Solarzellen

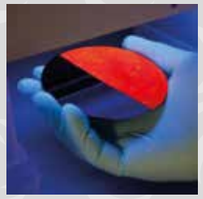
Am IPHT werden weltweit erstmals Silizium-Nanodraht basierte Dünnschicht-Solarzellen durch nasschemisches Ätzen aus einer laserkristallisierten Siliziumschicht hergestellt. Die gesamte Solarzelle ist nur 2,5 Mikrometer dick. Der gemeinsam von Dr. Gudrun Andrä und Dr. Vladimir Sivakov veröffentlichte Artikel über Silizium-Nanodraht-Solarzellen auf Glas ist einer der erfolgreichsten Artikel in der 25-jährigen Geschichte des IPHT und wurde über 410-mal zitiert (Nano Lett., 2009, 9 (4), pp 1549–1554)

Silizium-Nanodrähte hergestellt im VLS-Verfahren (bottom-up)

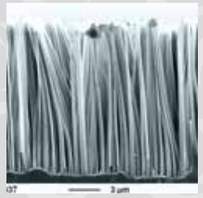
Anlage zur Elektronenstrahlbeschichtung



In Polymermatrix eingebettete Silizium-Nanodrähte



Raumtemperatur Photolumineszenz von Silizium-Nanodrähten auf einem Wafer



Im *top-down* Verfahren hergestellte Silizium-Nanodrähte

08 / 2010 – 07 / 2013

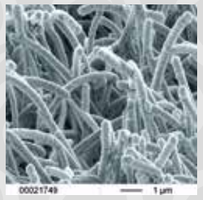
SiNAPS – Halbleitende Nanodraht-Plattform für autonome Sensoren (EU-Projekt)

Atomlagenabscheidungsverfahren zur Funktionalisierung und Verschaltung der Silizium-Nanodraht basierten Solarzellen zu nur wenige Millimeter großen Modulen für die Stromversorgung autonomer Sensorsysteme

03 / 2011 – 02 / 2014

NanoPV – Nanomaterialien und Nanotechnologie für hochentwickelte Photovoltaik (EU-Projekt)

Atomlagenabscheidung einer ZnO:Al-Leiterschicht auf Silizium-Nanodrähten zur Herstellung von Solarzellen



VLS-Silizium-Nanodrähte ummantelt mit ZnO:Al

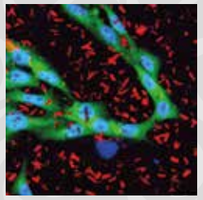
Aktuelle Forschungsthemen

Silizium-Nanodrähte werden als Katalysatoren zur lichtgetriebenen Wasserstofferzeugung untersucht

Untersuchung der antibakteriellen Wirkung von Silizium-Nanodrähten

Untersuchungen zur Aufnahme, therapeutischen Wirkung und Biodegradation von Silizium-Nanopartikeln in Krebszellen mittels Spektroskopie und Mikroskopie

Dichtstehende Silizium-Nanodrähte mit einem besonderen Kern-Hülle-Aufbau werden in hochempfindlichen Sensoren eingesetzt, die je nach Ausführung Licht, Röntgen- und Gammastrahlung oder hochenergetische Partikel detektieren.



Photolumineszenz von Silizium-Nanopartikeln (rot) in menschlichen Lungenkrebszellen (Hep-2)

Nanoteppiche aus Silizium

Die ursprünglich für Anwendungen in der Mikroelektronik konzipierten Silizium-Nanodrähte besitzen aufgrund ihrer ungewöhnlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften, ihrer großen Oberfläche und einfachen Herstellung ein breites Einsatzspektrum. Während am IPHT die Anwendungsschwerpunkte anfangs bei neuartigen Transistoren und Solarzellen lagen, gewinnen die Nanodrähte und -partikel aus Silizium seit einigen Jahren als Marker für die multimodale Bildgebung oder in hochempfindlichen Sensoren zur Partikeldetektion an Bedeutung. Die Silizium-Nanodrahtteppiche entstehen in einem *bottom-up* Verfahren oder durch einen *top-down* Prozess.

In beiden Varianten kommen Dünnschichttechniken wie die chemische Gasphasenabscheidung, Atomlagenabscheidung, Elektronenstrahlverdampfung und gepulste Laserablagerung sowie nass-chemische Ätzmethoden zum Einsatz. Beim *top-down* Verfahren werden die Nanodrähte aus einer monokristallinen oder laserkristallisierten Siliziumschicht herausgeätzt. Dabei entstehen sehr dichte Teppiche, welche eine hohe Lichtabsorption zeigen. Der Prozess des nasschemischen Ätzens verändert die chemisch-physikalischen Eigenschaften des Siliziums, was für verschiedene Anwendungen gezielt genutzt wird. In der *bottom-up* Variante wachsen die Silizium-Nanodrähte mit Hilfe des VLS-Verfahrens (*Vapor-Liquid-Solid*) auf einem Substrat. Dafür werden Goldpartikel mit dem Durchmesser der angestrebten Nanodrähte auf einem Substrat aufgebracht. Während der Gasphasenabscheidung von Silangas (SiH_4), das sich katalytisch an den Goldtröpfchen zersetzt, wachsen die Silizium-Nanostrukturen auf dem Substrat in die Länge. Da das Verfahren bei nur etwa 500 °C abläuft, kann Glas als Substrat eingesetzt werden.

Eugen Ermantraut auf der Terrasse des Bioinstrumentezentrums mit Sitz der BLINK AG (Beutenberg Campus Jena)

„Wir sollten mehr Forscherinnen und Forscher ermutigen, mit ihren Ideen Unternehmen zu gründen.“

» Neben der anwendungsnahen Forschung setzt das IPHT auf eine erkenntnisorientierte Grundlagenforschung beispielsweise auf den Gebieten der Nanoskopie, Point-of-Care-Sensorik sowie Faseroptik. Sie bietet Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern den nötigen Freiraum, um neue Ideen zu entwickeln und eigene Forschungsinteressen zu verfolgen. Auf diesem Nährboden am IPHT wachsen, wie das Beispiel von Eugen Ermantraut zeigt, sehr schnell konkrete Vorstellungen wie die Idee zur Anwendung gebracht werden kann. Im persönlichen Gespräch mit Ermantraut, der an der Ausgründung mehrerer Firmen aus dem IPHT beteiligt war, schildert er seinen Weg von der Idee zum Produkt.

Als Wissenschaftler forschte Eugen Ermantraut seit 1994, zunächst im Rahmen seiner Diplomarbeit am Hans-Knöll-Institut (HKI), an neuartigen Trägern für die Elektronenmikroskopie. Die dafür notwendige Mikrostrukturierung führte ihn an das noch junge IPHT. Der Biologe war fasziniert von den technologischen Möglichkeiten am Institut und der Atmosphäre in der damaligen Arbeitsgruppe um Michael Köhler. Vor allem der Reinraum im Lasertechnikgebäude weckte Ermantrauts Interesse: „Die IPHT-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler waren bereits ins neue Reinraumgebäude umgezogen. Ein umfangreiches Arsenal an Arbeitsmitteln war vorhanden und funktionstüchtig. Das stand uns für alles Mögliche zur Verfügung.“ Zusammen mit Torsten Schulz und Michael Köhler, dem damaligen Abteilungsleiter für Mikrosysteme, führte er erste Experimente zu biologischen Opferschichten durch. „Es war wie eine Art Praktikum“, beschreibt er die sechs Monate, in denen er von Schulz und Köhler alles über Mikrosystemtechnik lernte.

Eugen Ermantraut

Eugen Ermantraut, ehemaliger Mitarbeiter des IPHT, ist einer der Gründer und Vorstand der BLINK AG, die sich zum Ziel gesetzt hat, die *in-vitro* Diagnostik zu dezentralisieren und die Entwicklung neuer diagnostischer Tests durch ein kooperatives Geschäftsmodell zu vereinfachen und zu beschleunigen.

Ermantraut war an mehreren Unternehmensgründungen beteiligt. Während seiner Diplomarbeit entwickelte er neuartige Träger für die Elektronenmikroskopie. Diese wurden zur Geschäftsgrundlage der Quantifoil Microtools GmbH. Später befasste er sich mit der Entwicklung von Verfahren zur Erzeugung von Polymerbibliotheken. Diese Arbeiten führten 1998 zur Gründung der CLONDIAG GmbH. Nach der Übernahme der CLONDIAG durch den Alere Konzern 2006 leitete Ermantraut den schnell wachsenden Standort in Jena und betreute die Entwicklung und Markteinführung neuer Produkte auf dem Gebiet der *Point-of-Care* Diagnostik. Er betreute eine Reihe von internationalen Zusammenarbeiten mit namhaften Partnern aus der Global Health Community. 2014 verließ er den Alere Konzern und konzentriert sich seitdem auf sein neues Unternehmen.

„Wir kamen aus unterschiedlichen Richtungen, aber wir wollten das Gleiche.“

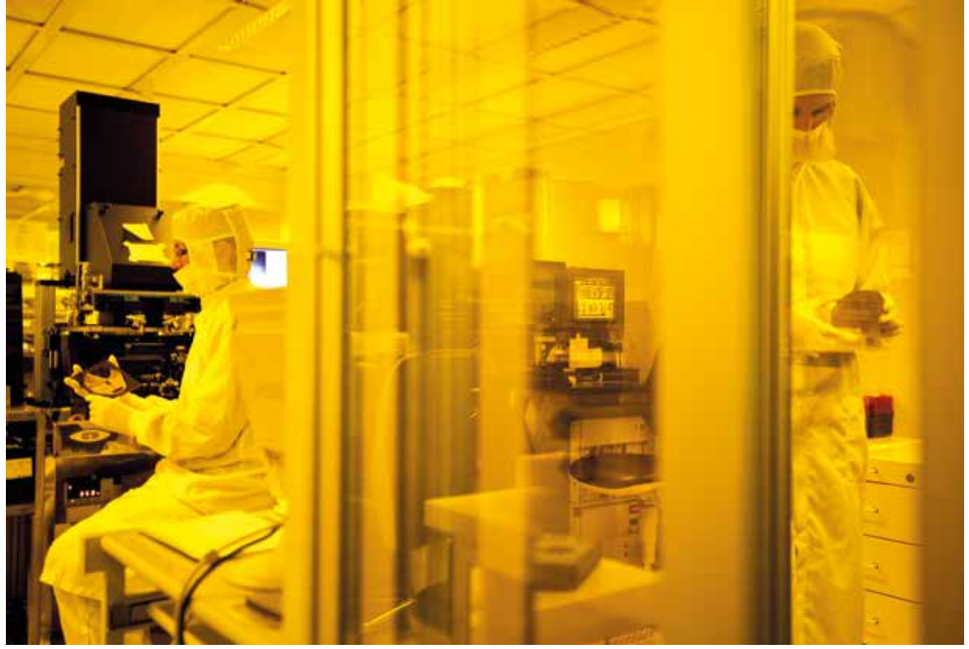
„Mitte der 90er Jahre war das IPHT sehr themenoffen.“, schildert Ermantraut seinen Start am Institut. „Man suchte nach neuen Spezialisierungsfeldern und wollte zur Entwicklung der Biotechnologie beitragen.“ Dem Institut kam jemand wie Ermantraut recht, der etwas von Biologie und Biotechnik verstand und zudem Lust auf Mikrosystemtechnik hatte. Ermantraut faszinierte das Neue, die unkomplizierte Arbeitsweise und die „Spielwiese“, die ihm mit dem Reinraum zur Verfügung gestellt wurde. Er wechselte nach dem Diplom ans IPHT und brachte sein biologisches Fachwissen in die Entwicklung neuer Verfahren und Techniken im Reinraum ein. „Wir kamen aus unterschiedlichen Richtungen, aber wir wollten das Gleiche“, so Ermantraut über die damals ungewöhnliche Konstellation.

„Die Dinge haben sich verselbstständigt.“

„Ich hatte Zeit und ein Stipendium. Ich wollte einen Träger für die Elektronenmikroskopie bauen. Ich wollte unbedingt ein Ding haben, mit dem man Nukleinsäuren auf einer Oberfläche über Löcher strecken konnte. Und das gab es nicht. Das konnte man nicht kaufen.“ Also entwickelten die Wissenschaftler Techniken, um diese Träger mit einer Art Siebboden selbst herzustellen. Schnell wurde klar, dass die damals verwendeten Nitrid-Membranen durch strukturierten Kohlenstoff ersetzt werden mussten. Willem Tichelaar vom Institut für molekulare Biotechnologie (IMB, dem heutigen Fritz-Lipmann-Institut) erkannte als Elektronenmikroskopiker schnell die Anwendungsmöglichkeiten solcher Träger. Und Ermantraut war froh, „dass da jemand war, der dieses Zeug wirklich haben wollte.“ Zusammen mit Klaus Wohlfart, der zur gleichen Zeit am IPHT promovierte, entwickelten sie die Technik weiter, um Träger mit wohldefinierter Lochgröße, -form und -anordnung zu erhalten. Schnell interessierten sich Händler für Elektronenmikroskopiezubehör für die neuen Träger. Und da nun ein Produkt hergestellt werden sollte, bot sich die Gründung eines Unternehmens an. Zusammen mit Klaus Wohlfahrt und Willem Tichelaar gründete Ermantraut 1996 die Quantifoil GbR. Der Entschluss zur Firmengründung kam im richtigen Moment. „Es war eine Zeit, die reif war für die Träger. Viele Anwender wollten sie haben und die Entwicklung hat sich verselbstständigt.“

„Alles war möglich.“

Etwa zur gleichen Zeit forschte Ermantraut an verschiedenen Verfahren zur Funktionalisierung von Oberflächen, um kombinatorische Bibliotheken von Polymeren zu erzeugen. Er hatte vor, über die Möglichkeiten des Einsatzes von Drucktechniken zur Herstellung biofunktionalisierter Chips zu promovieren. Um mikrostrukturierte Polymer-Arrays auf der Oberfläche von technischen Substraten zu erzeugen, suchten die Wissenschaftler nach geeigneten Verfahren. „Wir nahmen natürlich die Technik und Geräte, die vorhanden waren. Also haben wir mit einem Mask-Aligner versucht gezielt an bestimmte Punkte auf der



^ Reinraum des Leibniz-IPHT

v Eugen Ermantraut in seinem Büro der BLINK AG

Waferoberfläche, anstelle von Licht, Flüssigkeiten zu positionieren. Das funktionierte irgendwann, aber klar war auch, dass wir für die Produktion eigene Geräte brauchten.“ Es wurden besonders modifizierte Mask-Aligner benötigt, um das Verfahren entwickeln zu können. Michael Köhler kontaktierte das Unternehmen Electronic Visions (EV), das schon die am IPHT vorhandenen Geräte geliefert hatten und beschrieb das Vorhaben. Nach einem Treffen signalisierte EV Interesse an der Umsetzung dieses Themas und es entstand die Idee ein gemeinsames Unternehmen zu gründen. Am 1. April 1998 wurde die Clondiag Chip Technologies GmbH ins Leben gerufen. In den zwei darauffolgenden Jahren verließ fast eine ganze Arbeitsgruppe das Institut. „Das war ein Aderlass für das IPHT, aber der damalige Vorstand hatte das immer unterstützt.“ Die Finanzierung der Technologieentwicklung gelang aus unterschiedlichsten Quellen. Der Freistaat Thüringen stellte ein Darlehen zur Verfügung, mit dem Forschungskooperationen finanziert werden konnten und beteiligte sich später an dem Unternehmen. 2002 stellte die Clondiag mit dem ArrayTube, einem neuartigen Format zur Entwicklung von Multiplex-Tests, ihr erstes Produkt für Endanwender vor. In den folgenden Jahren widmete sich Ermantraut mit der Firma der Etablierung von Sonden-Arrays in der molekularen und immunologischen Diagnostik. Ein Schwerpunkt der Arbeiten lag auf der Entwicklung laborunabhängiger *In-vitro*-Diagnostik für den Vor-Ort-Nachweis. Nach der Übernahme der Clondiag durch den Alere Konzern 2006 entwickelte sich das Unternehmen zu einem voll integrierten Entwickler und Fertiger von *In-vitro*-Diagnostika-Produkten. Mit dem Pima CD4 konnte 2009 das erste mobile Zytometrie-System kommerzialisiert werden. Die Entwicklng von Fertigungsverfahren für die Massenproduktion von IVD Tests wurden nun zu einem Schwerpunk der Arbeiten bei Clondiag.

„Das Institut ist viel sichtbarer als es jemals war.“

Heute hat sich für Eugen Ermantraut der Kreis zur anwendungsorientierten Forschung und zum IPHT geschlossen. Nach seiner Zeit bei Clondiag und später bei Alere hat er 2014 ein neues Unternehmen, die BLINK AG, gegründet. Hier forscht er an neuen Konzepten, um eine nachhaltige, dezentralisierte *In-vitro*-Diagnostik zu verwirklichen. Und er sieht Parallelen zu seiner Zeit am IPHT. „Auch bei Blink haben wir bewusst eine Findungsphase eingeplant.“

Als langjähriger Kooperationspartner und seit Kurzem als Mitglied im wissenschaftlichen Beirat des IPHT, lässt Ermantraut seine Erfahrungen und Technologien ins Institut zurückfließen. „Das IPHT hat heute einen klaren inhaltlichen Fokus, klare Strukturen und nachvollziehbare Ziele. Dennoch sollten neue Wege beschritten werden können. Grundlagenforschung wird immer Überraschendes schaffen und Möglichkeiten für die Forscherinnen und Forscher eröffnen, eigene unternehmerische Wege zu gehen. Wir sollten mehr von ihnen ermutigen, mit ihren Ideen Unternehmen zu gründen.“

Als Hausmeister liebe ich die Vielfalt meiner Arbeit, aber auch gute Terminplanung, Ordnung und das herzliche Verhältnis zu Kolleginnen und Kollegen. Nur so kann ich die vielen täglichen Aufgaben wie Gasflaschenwechsel, Schlüsselverwaltung, Kurierdienste oder die korrekte Bestuhlung der Besprechungsräume zuverlässig organisieren. Wenn es dazu noch etwas zu reparieren gibt, ist mein Tag perfekt.

DETLEF SCHARF

Seit 2005 am IPHT

Betriebshandwerker

Betriebstechnik

Auf mich ist Verlass.

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 (Leibniz-IPHT)

Layout:
Katrin Uhlig (Leibniz-IPHT)

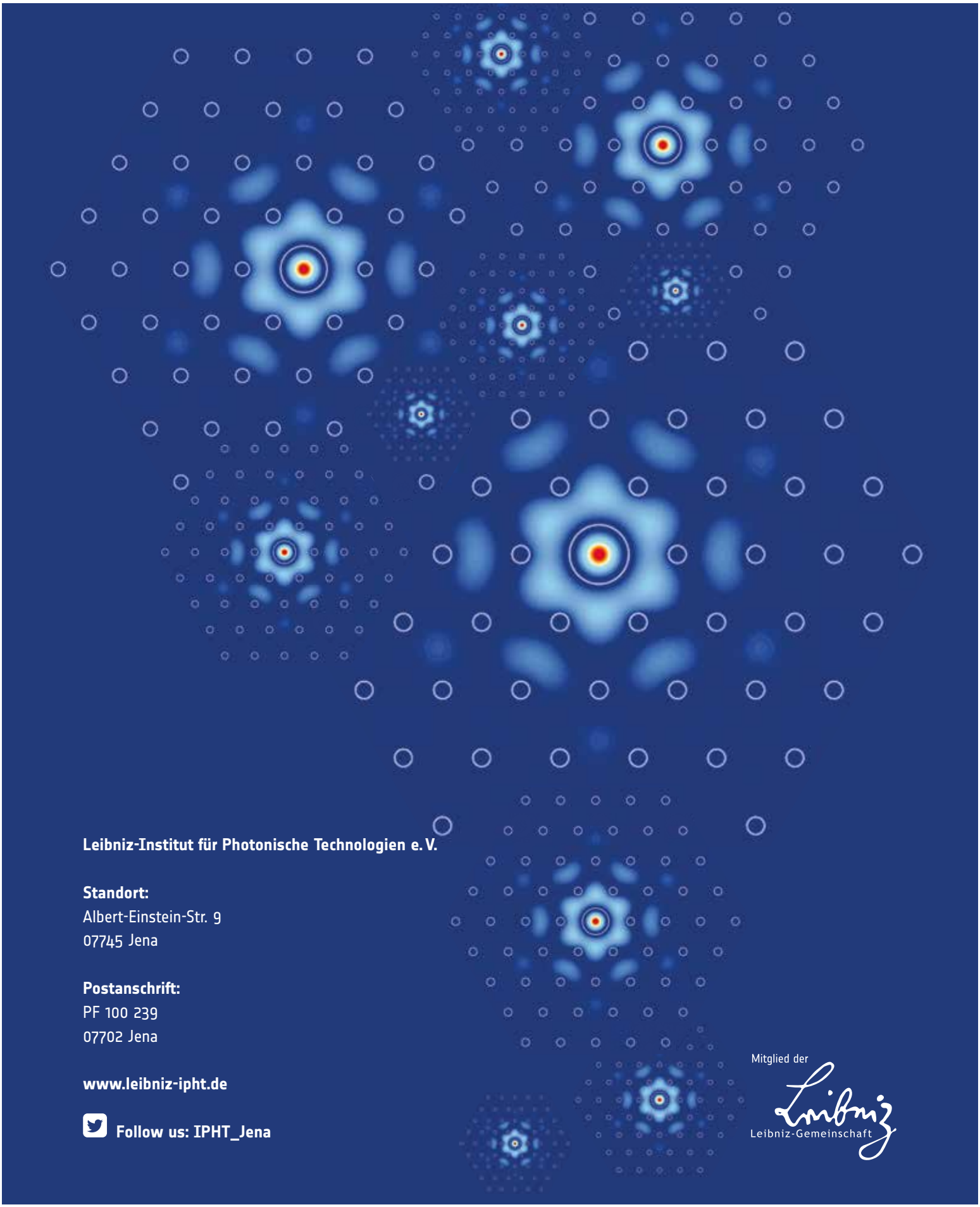
Bilder:
Sven Döring _Agentur Focus, Hamburg, Leibniz-IPHT Jena

Druck:
Grafisches Centrum Cuno GmbH und Co KG, Calbe (Saale)

© Leibniz-IPHT Jena _01.2017

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: IPHT_Jena

Mitglied der
Leibniz-Gemeinschaft