

FORSCHEN IN MARBURG 2010 – 2014





FORSCHEN IN MARBURG 2010 – 2014



VORWORT 4

**1 SICHERHEIT, ORDNUNG, KONFLIKT 6**

- Konstruktionen von (Un-)Sicherheit im Wandel der Zeit 8
- Den Umgang mit Kriegsverbrechen wissenschaftlich erforschen 10
- »Arabischer Frühling« – Herausforderung für die Forschung 12

**2 IM UNIVERSUM DER SPRACHE 16**

- Moderne Sprachdynamikforschung 18
- Linguistische Basiskategorien begründen 20

PHILIPPS-UNIVERSITÄT INTERNATIONAL 22

**3 DEM GEHIRN BEI DER ARBEIT ZUSCHAUEN 24**

- Prozesse der Wahrnehmung und Handlung verstehen 26
- Neurobiologische Spurensuche bei psychischen Erkrankungen 28

TRANSFER: IM SCHNITTFELD VON WISSENSCHAFT UND WIRTSCHAFT 30

**4 VOM ATOM ZUM FUNKTIONSMATERIAL 32**

- Strukturen und Dynamik zwischen Materialien steuern 34
- Von der Grundlagenforschung zum industriellen Herstellungsverfahren 36
- Mit neuen chemischen Strategien biologische Prozesse steuern 38

NACHWUCHSFÖRDERUNG 40

**5 GRUNDLAGEN DES LEBENS 42**

- Mikroorganismen passen sich ständig ihrer Umwelt an 44
- Mikrobiologie mit ingenieurwissenschaftlichen Konzepten 47
- Wie Zellen hochkomplexe Funktionsräume bilden 50

LEIBNIZ-PREISTRÄGER DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT MARBURG 53

**6 IM DIENST DES PATIENTEN 54**

- Erforschung hochpathogener Viren 56
- Tumor-, Immun- und Infektionsforschung wachsen zusammen 58

**7 ZAHLEN UND FAKTEN 60**

IMPRESSUM 68

# INHALT

VORWORT

# Forschen in Marburg



Erkenntnisfortschritte entstehen durch herausragende Leistungen in den Einzelwissenschaften. Sie bilden die Grundlagen für die Interaktion und die wechselseitige thematische und methodische Befruchtung von Fächern und Fachkulturen. Forschung bündelt sich dann in interdisziplinären Kooperationen – innerhalb der Philipps-Universität, mit Partnern in der Region und weltweit. Wir stellen in dieser Publikation herausragende Marburger Persönlichkeiten mit ihren Forschungsthemen vor, darunter auch einige der insgesamt 13 Leibniz-Preisträger, sowie die Bündelung von Gruppen zu Forschungsfeldern innerhalb der Philipps-Universität – und das in der gesamten fachlichen Breite.

Wir zeigen für den Zeitraum 2010 bis 2014, in welchen Wissenschaftsfeldern aus der ganzen Universität innovative Einzelforschung zu übergreifenden Kooperationen geführt hat.

Von besonderer Bedeutung für die Philipps-Universität Marburg ist der Zusammenschluss mit der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Forschungsallianz Gießen-Marburg. Sie erlaubt eine mittel- und langfristige Weiterentwicklung unserer Forschung mit einem besonders verlässlichen Partner. Allein 2014 starteten mehrere gemeinsame Forschungsvorhaben. Marburger und Gießener Wissenschaftler betrachten das in aktuellen gesellschaftlichen Diskursen wichtige Thema Sicherheit erstmals aus historischer Perspektive. Die Neurowissenschaftler beider Universitäten bündeln ihre Expertise, um die Mechanismen der Wahrnehmung grundlegend zu analysieren. Ihre Erkenntnisse werden auch in der Medizin Anwendung finden. Zusammen mit Frankfurter Wissenschaftlern arbeiten Marburger und Gießener Chemiker und Pharmazeuten an der Frage, wie man die gezielte Wirksamkeit von Medikamenten verbessern kann. Forschung auf Spitzenniveau kennt keine nationalen Grenzen: Vor allem die Medizin hat in ihren Schwerpunkten – Tumor- und Entzündungsforschung sowie Infektionsbiologie in engem Verbund mit der Zellbiologie – Netzwerke in der gesamten Europäischen Union und darüber hinaus gebildet. Seit Jahrzehnten kooperieren beispielsweise Physiker und Mathematiker mit Wissenschaftlern sowohl in den USA als auch in Russland. Die Mitglieder des Centrums für Nah- und Mitteloststudien forschen nicht nur über, sondern auch mit Kolleginnen und Kollegen aus der arabischen Welt.

Wir danken ganz besonders den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern für ihre Mitwirkung an dieser Publikation und wünschen bei der Lektüre Vergnügen und neue Erkenntnisse.

Ihre

**Prof. Dr. Katharina Krause**

PRÄSIDENTIN DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT MARBURG

VORWORT

# Gutes Umfeld für Talente

Die Nachwuchswissenschaftler von heute sind die Spitzenforscher von morgen. Aufgabe der Universität ist es daher, vielversprechende Talente frühzeitig zu fördern und sie in den entscheidenden Phasen des Übergangs zur nächsten Stufe der wissenschaftlichen Laufbahn nicht aus den Augen zu verlieren, sondern Unterstützung anzubieten, wo immer es möglich ist.

Sicher, jede Forscherin und jeder Forscher muss einen eigenen Weg finden. Doch Beratung, Mentoring, finanzielle Förderungen sowie Weiterbildungen zum Erwerb fächerübergreifender Qualifikationen spielen eine wichtige Rolle, um eine eingeschlagene Richtung auch konsequent gehen zu können. In dieser Broschüre über Forschung in Marburg streifen wir immer wieder das Thema Nachwuchs.

Wir stellen die Arbeit eines internationalen Graduiertenkollegs im Fachgebiet Neurowissenschaften vor und skizzieren den ungewöhnlichen Werdegang eines Chemikers, der geprägt durch seine Auslandserfahrung schon in jungen Jahren sein Forschungsgebiet in eine neue Richtung lenkte. Wir greifen die Forschung eines jungen Zellbiologen auf, der sich im Umfeld langjährig etablierter Wissenschaftler in der Marburger Mikrobiologie entwickeln konnte und nun selbst Junior-Professor geworden ist. Wir berichten von einer herausragenden Halbleiterphysikerin, die ihre Laufbahn als Heisenberg-Professorin startete und heute die Marburger Materialwissenschaften entscheidend mitprägt. Sie lernen auch eine Leibniz-Preisträgerin kennen, die als junge Forscherin am Marburger Centrum für Nah- und Mitteloststudien damit begann, die interdisziplinäre Neuausrichtung des Faches Arabistik und der Nahoststudien in Deutschland insgesamt wesentlich voranzutreiben.

Diese Wissenschaftler waren alle bis vor wenigen Jahren selbst Nachwuchstalente und können heute als Vorbilder dienen. Gemeinsam ist ihnen, dass sie früh eigenverantwortlich forschten. Das wollen wir in Marburg unterstützen: frühe, selbständige Forschung, auch international, bei gleichzeitiger Einbindung in Strukturen und Förderung durch Nachwuchsprogramme, die den einzelnen Persönlichkeiten gerecht werden.

Ihr

**Prof. Dr. Ulrich Koert**

VIZEPRÄSIDENT FÜR FORSCHUNG, NACHWUCHSFÖRDERUNG, WISSENSTRANSFER UND INTERNATIONALES





## SICHERHEIT, ORDNUNG, KONFLIKT

Aus der Vergangenheit für die Zukunft lernen: Gesellschaftliche und politische Entwicklungen kommen nicht überraschend, sondern haben immer historische Wurzeln. Sie zu erforschen ist wichtig, um die Gegenwart zu verstehen und die Zukunft zu gestalten. An der Philipps-Universität bilden die Themen Sicherheit, Ordnung, Konflikt einen interdisziplinären Schwerpunkt in der geistes- und sozialwissenschaftlichen Forschung. Marburger Wissenschaftler untersuchen Kultur, Politik und Akteure im Nahen und Mittleren Osten aus verschiedenen Perspektiven und tragen so zu einem umfassenden Verständnis der Region bei. Ihre Herangehensweise hat Modellcharakter für die Zukunft der Regionalforschung. Sicherheit aus historischer Perspektive von der frühen Neuzeit bis heute zu betrachten, ist ein neuer Ansatz, für den Marburger und Gießener Wissenschaftler ihre Kompetenzen bündeln. Ihre Erkenntnisse werden künftig politische Diskurse bereichern. Marburger Forscher untersuchen außerdem den Umgang verschiedener Gesellschaften mit Kriegsverbrechen und sind auch als Politikberater gefragt. Sie wirken maßgeblich an Expertenkommissionen der Bundesregierung zur politischen Situation im Nahen Osten und zur Aufarbeitung der deutschen NS-Vergangenheit mit.

KONSTRUKTIONEN VON (UN-)SICHERHEIT IM WANDEL DER ZEIT

# Die Zukunft in Sicherheit wiegen

Internet, Finanzmärkte, Klimawandel, Straßenverkehr – Sicherheit spielt in fast allen Lebensbereichen eine große Rolle. In der Antike war das nicht anders. Marburger und Gießener Wissenschaftler widmen sich der Frage, wie Sicherheit zu verschiedenen Zeiten dar- und hergestellt wurde, wie sich das Verständnis von Sicherheit gewandelt und politische Prozesse geprägt hat.

»Kriege führen mögen andere, du glückliches Österreich, heirate.« Nach diesem Motto erweiterten und sicherten die Habsburger seit dem späten Mittelalter ihren Herrschaftsbereich. Die Bedeutung der dynastischen Eheverträge für die Herstellung von Sicherheit ist nur eines der vielfältigen Themen, die Marburger und Gießener Historiker, Politologen, Sozial- und Rechtswissenschaftler sowie Kunsthistoriker im Sonderforschungsbereich/Transregio 138 »Dynamiken der Sicherheit. Formen der Versicherunglichung in historischer Perspektive« untersuchen. Die 60 beteiligten Forscher interessieren sich für die Frage, wie Sicherheit in einem Lebensbereich an Bedeutung gewinnt und welche politischen Prozesse dadurch in Gang gesetzt werden. In den Blick nehmen sie dabei auch die Ambivalenz des Sicherheitsstrebens: In das politische Ziel Sicherheit wird viel investiert,

doch paradoxerweise vergrößert sich oftmals die Unsicherheit. »Ein beklemmendes aktuelles Beispiel dafür ist die Entwicklung im Irak«, sagt Professor Dr. Christoph Kampmann, Marburger Historiker und Sprecher des SFB. »Die Allianz westlicher Staaten hat enorme militärische Investitionen in die Sicherheit getätigt mit dem Ergebnis, dass Teile des Irak nun genau von jenen Kräften kontrolliert werden, die bekämpft werden sollten.«

»In den Sozialwissenschaften ist Sicherheit schon seit langem ein zentrales Forschungsthema«, erklärt Kampmann. »Deren Methoden und Fragestellungen entwickeln wir weiter, um epochenübergreifende Analysen durchzuführen.« Die in den Politikwissenschaften bedeutende »Copenhagen School« hat den Begriff der »Securitization« geprägt, der mit Versicherunglichung übersetzt wird. Diesem Konzept folgend, verstehen die am SFB beteiligten Wissenschaftler Sicherheit als gesellschaftliches Konstrukt, das sich im Verlauf der Geschich-

te dynamisch entwickelt. Sicherheit ist ein räumlich und zeitlich wandelbares Konzept, da sich Bedrohungen und Gefahren immer wieder ändern oder neu und anders verstanden werden können. »Darstellung und Herstellung von Sicherheit bedingen einander«, sagt Kampmann. Welche Vorstellungen von Sicherheit letztlich den politischen Prozess dominieren, wird gesellschaftlich ausgehandelt. Nicht alles, was technisch möglich ist, findet auch Akzeptanz – es geht also immer auch um Fragen von Herrschaft und Legitimation.

In 19 Teilprojekten gehen die Wissenschaftler den Fragen nach Dar- und Herstellung von Sicherheit in verschiedenen Zeiten, Räumen und politischen Gegebenheiten nach. So beschäftigt sich ein Projekt mit Konfessionskonflikten im Hinblick auf Sicherheit in föderalen politischen Systemen der Frühen Neuzeit. Ein anderes Projekt untersucht die Frage nach Sicherheit im städtischen Raum unter unterschiedlichen Gesichtspunkten. So war in der Frühen Neuzeit die Abgrenzung von als sicher empfundenem privatem Raum und als unsicher betrachtetem öffentlichem Raum ein wichtiges sozio-kulturelles Thema, und zwar sowohl bei der architektonischen Grenzziehung als auch in künstlerischen Darstellungen. Ende des 19. Jahrhunderts stand der öffentliche Diskurs über städtische Sicherheit in enger Verbindung mit sozialen Unruhen, zum Beispiel in London oder Hamburg, und der Suche nach neuen Sicherheitsregimen.

Für das Verständnis kollektiver Sicherheit ist das moderne Völkerrecht maßgeblich. Einige Forscher befassen sich mit der Herausbildung völkerrechtlicher Institutionen und deren Beitrag zur Sicherheit von Staaten. Andere analysieren, wie sich die Ächtung von Völkermord ab den 1920er Jahren nach und nach international durchgesetzt hat. Die Anfänge gehen auf ein Netzwerk ostmitteleuropäischer Akteure zurück, die Völkermord als Straftatbestand juristisch ausgearbeitet hatten. Von großem Interesse für die internationalen Beziehungen ist die Frage, inwieweit sich Sicherheit exportieren lässt. Die

Ankunft von Maria Elisabeth von Österreich in Brüssel, Leonard Schenk, Pieter Schenk (II), Staten van Holland en West-Friesland, 1727



## SFB/Transregio 138 der Deutschen Forschungsgemeinschaft

»Dynamiken der Sicherheit. Formen der Versicherunglichung in historischer Perspektive«

- Start: 1. April 2014
- Beteiligte: Philipps-Universität Marburg, Justus-Liebig-Universität Gießen, Herder-Institut für historische Ostmitteleuropaforschung – Institut der Leibniz-Gemeinschaft, Marburg
- Sprecher: Christoph Kampmann (Professor für Neuere Geschichte/Frühe Neuzeit, Marburg)
- Stellvertretende Sprecher: Eckart Conze (Professor für Neueste Geschichte, Marburg), Horst Carl (Professor für Geschichte der Frühen Neuzeit, Gießen), Regina Kreide (Professorin für Politische Theorie und Ideengeschichte, Gießen)
- Vorstandsmitglied seitens des Herder-Instituts: Peter Haslinger (Direktor des Herder-Instituts, Marburg, und Professor für die Geschichte Ostmitteleuropas, Gießen)

Wissenschaftler erforschen den möglichen Nutzen und die Folgen von militärischen Interventionen im Ausland. Sie untersuchen, unter welchen Bedingungen Sicherheit von außen geschaffen werden kann und inwieweit es im Verlauf der Geschichte typische Muster einer solchen Etablierung von Sicherheit gegeben hat.

Spätestens seit der Finanzkrise 2008 verbindet man mit politischer Sicherheit auch die Frage, wie die globalen Finanzmärkte besser beaufsichtigt und reguliert werden können. Wissenschaftler analysieren in einem Teilprojekt, welche Akteure der Finanzwirtschaft hierbei eine wichtige Rolle spielten und wie seitdem mit Risiken – ein umstrittener Begriff im Kontext von Sicherheit und Unsicherheit – umgegangen wird.

»Unser Forschungsprogramm ist nicht nur deshalb von höchster Relevanz, weil Sicherheit in unserer Zeit von immenser politischer Bedeutung ist«, sagt Christoph Kampmann, »sondern auch weil wir gerade durch unsere historische Perspektive dazu beitragen können, aktuelle Diskurse zum Thema zu bereichern und neu zu akzentuieren.«

### Weitere Informationen:

Sonderforschungsbereich »Dynamiken der Sicherheit« im Internet: [www.dynamiken-der-sicherheit.de](http://www.dynamiken-der-sicherheit.de)

DEN UMGANG MIT KRIEGSVERBRECHEN WISSENSCHAFTLICH ERFORSCHEN

## Kritischer Blick auf die Vergangenheit

Marburger Rechtswissenschaftler, Historiker und Sozialwissenschaftler erforschen Kriegsverbrecherprozesse und Übergänge zu Rechtsstaatlichkeit in Post-Konfliktgesellschaften. Sie sind außerdem gefragte Experten in Kommissionen zur Aufarbeitung der NS-Vergangenheit von Bundesministerien und zur Weiterentwicklung des internationalen Strafrechts.

Seit 2003 ist Marburg Standort des »Internationalen Zentrums für die Erforschung und Dokumentation von Kriegsverbrecherprozessen« (ICWC). Es entstand als Ausgründung des Max-Planck-Instituts für Rechtsgeschichte in Frankfurt vor dem Hintergrund, dass es über viele Kriegsverbrecherprozesse rund um den Globus nur wenige Informationen gab. Das erste Projekt befasste sich mit Kriegsverbrecherprozessen gegen Deutsche und Japaner nach dem Zweiten Weltkrieg – bis heute Meilensteine in der Geschichte des Völkerstrafrechts. Die für dieses Projekt gesammelten 400 Filmrollen und fast eine halbe Million Seiten bildeten den Grundbestand des Quellenarchivs am ICWC, das seither um ein Vielfaches angewachsen ist.



Die Rosenburg bei Bonn, bis 1973 Sitz des Bundesjustizministeriums.

Die wissenschaftliche Beobachtung von Kriegsverbrecherprozessen und die Ausbildung von Studierenden zu Prozessbeobachtern sind Spezialitäten des ICWC. »In unserer Arbeit werfen wir einen kritischen Blick auf Strafprozessordnungen und geben Empfehlungen«, erklärt der Straf- und Völkerrechtler Professor Dr. Christoph Safferling. »Wir untersuchen, ob Verfahren nach den Kriterien der Rechtsstaatlichkeit ablaufen, wie das Gericht mit den Beteiligten umgeht, welche Rechtsprobleme in den Verhandlungen erörtert und wie Verfahren organisiert und durchgeführt werden.«

In dem seit 2012 laufenden Forschungsprojekt »Transitional Justice« (Übergangsgerechtigkeit) arbeitet das ICWC eng mit dem Marburger Zentrum für Friedens- und Konfliktforschung zusammen. Sie analysieren die schwierigen Übergänge von Zeiten massiver Menschenrechtsverletzungen, Völkermord und Kriegsverbrechen zu friedlichen staatlichen und zwischenstaatlichen Ordnungen, zum Beispiel in Kambodscha nach der Herrschaft der Khmer Rouge. Die Ergebnisse sollen wertvolle Hinweise für künftige Situationen geben, in denen Gesellschaften Unrechtserfahrungen aufarbeiten.

Die Expertise von Professor Safferling und weiterer Marburger Wissenschaftler am ICWC wird seit Jahren von der Politik nachgefragt, um die Aufarbeitung der NS-Vergangenheit zu unterstützen. 2005 setzte der damalige Außenminister eine Unabhängige Historikerkommission ein, die die Rolle des Auswärtigen Amtes während der NS-Zeit sowie die personelle Kontinuität nach 1945 untersuchte. Anlass war die umstrittene Frage, ob Mitglieder der NSDAP und anderer NS-Organisationen offizielle Nachrufe erhalten sollten. Die international besetzte, vom Marburger Historiker Professor Dr. Eckart Conze geleitete Kommission legte 2010 den Bericht »Das Amt und die Vergangenheit« vor. Er zeichnet ein differenziertes Bild davon, inwieweit zahlreiche Diplomaten aktiv am NS-Regime beteiligt waren, vereinzelt Beamte gegen das Regime opponierten und belastete Mitarbeiter nach Kriegsende ihre Karrieren fortsetzen konnten.

Der Bundesnachrichtendienst hat 2011 eine Historikerkommission einberufen, an der der Marburger Neugeschichtler Professor Dr. Wolfgang Krieger beteiligt ist. Unterstützt von der internen Forschungsgruppe »Geschichte des BND« betrachtet die Kommission besonders die Zeit des ersten Amtsleiters Gehlen (1945-68). Zu den ersten Erkenntnissen gehört, dass sich unter Gehlen ganze Netzwerke aus Funktionsträgern mit NS-Vergangenheit dauerhaft im BND etablieren konnten. Die Amerikaner setzten Personal aus der NS-Zeit in der Zeit

Richter bei den Nürnberger Prozessen 1945



Quelle: Harvard Law School Library, Harvard University

des Kalten Krieges ein in der Erwartung, Informationen über die Sowjetunion zu bekommen. Es habe auch Fälle gegeben, in denen Straftaten von Mitarbeitern übergangen worden seien. Für die Kommission stellt sich daher auch die grundsätzliche Frage, welche Rolle Nachrichtendienste in demokratischen Gesellschaften haben und inwieweit sie rechtsstaatlichen Prinzipien folgen. Den Forschern geht es dabei nicht nur darum, Geschehenes nicht zu vergessen, sondern auch darum, urteilsfähig zu bleiben.

Die 2012 einberufene »Unabhängige Wissenschaftliche Kommission beim Bundesministerium der Justiz zur Aufarbeitung der NS-Vergangenheit« untersucht die personelle und sachliche Kontinuität im Ministerium beim Übergang zur bundesrepublikanischen Demokratie. Zwei Drittel der Juristen, die NSDAP-Mitglieder waren, wurden in den Justizdienst der Bundesrepublik übernommen. Zwar gab es nach dem Krieg eine Einordnung von NS-Juristen in Hauptschuldige, Belastete, Minderbelastete und Mitläufer. »Doch einige schwer Belastete sind zu niedrig eingestuft worden«, berichtet Professor Safferling. In manchen sensiblen Bereichen führte die personelle Kontinuität dazu, dass NS-Ideologie nach dem Krieg weiterwirkte, zum Beispiel wurden Wiedergutmachungsansprüche für Sinti und Roma abgelehnt. Die Kommission,

die 2016 ihren Bericht vorlegen wird, hat ihre Arbeit von Beginn an mit juristischen Fachvereinigungen diskutiert und der Öffentlichkeit bekannt gemacht. Regelmäßig finden Konferenzen in der Rosenburg statt, die von 1950 bis 1973 Amtssitz des Bundesjustizministeriums war.

Über die Kommissionsarbeit hinaus ist Safferlings Expertise auch bei der Modernisierung des Internationalen Strafgerichtshofs gefragt. Er unterstützt das Bundesjustizministerium bei der Aufgabe, Reformvorschläge zu erarbeiten, beispielweise zur Beschleunigung der Verfahren und zur Opferbeteiligung.

### Weitere Informationen:

Internationales Zentrum für die Erforschung und Dokumentation von Kriegsverbrecherprozessen  
[www.uni-marburg.de/icwc](http://www.uni-marburg.de/icwc)



**Forschung zu moderaten Islamisten**

Das Fachgebiet Politikwissenschaft des Centrums für Nah- und Mitteloststudien (CNMS) hat Dialogforen für den Austausch zwischen Entscheidungsträgern moderater islamistischer Parteien und deutschen Partnern aus Politik und Wirtschaft ins Leben gerufen. Diese Foren reflektieren die Transformation und zunehmende Mäßigung bestimmter islamistischer Parteien im Kontext des »Arabischen Frühlings«. Themen sind der Aufbau eines Rechtsstaats, die Rolle der Zivilgesellschaft, Wirtschaft, Energiepolitik und soziale Entwicklung. Professor Ouaiassa und sein Team führen das Forschungsprojekt seit 2013 im Kontext der EU-Nachbarschaftspolitik im Auftrag des Auswärtigen Amtes durch. Zur Vorbereitung der Dialoge erarbeiten Wissenschaftler Analysen zu den teilnehmenden islamistischen Parteien aus Ägypten, Tunesien, Marokko, Algerien, Jordanien und Libyen sowie zur deutschen Außenpolitik in den jeweiligen Themen. Ziele der euro-mediterranen Partnerschaft sind Frieden, Stabilität und Wohlstand. »Um das zu erreichen, setzt sich die Politik auch mit neuen Akteuren wie den gemäßigten islamistischen Parteien auseinander«, sagt Ouaiassa. »Unabhängig davon, wie man sie bewertet, ist es wichtig, sie zur Kenntnis zu nehmen und zu verstehen. Sie sind heterogen und unterliegen wie alle anderen Akteure auch einem ständigen Wandel. Viele von ihnen sind heute etablierte Parteien, vergleichbar mit den konfessionellen Parteien in Europa.«

»ARABISCHER FRÜHLING« – HERAUSFORDERUNG FÜR DIE FORSCHUNG

# Quo vadis, arabische Welt?

Marburger Wissenschaftler erforschen Hintergründe und Tragweite der politischen Umwälzungen, die seit 2011 die Region von Marokko bis zum Jemen prägen. Den zivilgesellschaftlichen Akteuren gehört ihr besonderes Augenmerk. Diese reflektieren zum Beispiel mit Kunst die tiefgreifenden gesellschaftlichen Entwicklungen, die bislang kaum erforscht sind.

Kunst ist in den arabischen Ländern stärker als in Europa ein Mittel, um politische Botschaften zu transportieren. »Sie ist oft subversiv und viel enger mit politischen und gesellschaftlichen Entwicklungen verknüpft als gegenwärtig in Deutschland oder Europa«, sagt die Marburger Arabistik-Professorin Friederike Pannewick. Das gilt erst recht seit den Umbrüchen, die unter dem Begriff »Arabischer Frühling« zusammengefasst werden. Literatur, Theater, Musik, Filme oder Graffitis – das sind wichtige Ausdrucksformen, mit denen die Menschen ihre Erfahrungen von Leid und Tod unter den Diktaturen verarbeiten sowie ihre Hoffnungen und Visionen ausdrücken. In der Kunst können sie neuralgische Punkte ansprechen, die sonst in der Öffentlichkeit tabu sind. Pannewick, Leibniz-Preisträgerin von 2012, betrachtet die arabische Literatur, Kunst und Kultur daher immer in ihrem Kontext: »Sie sind der Seismograf einer Gesellschaft.«

sche nun ein Ringen um neue Deutungen vor. »Es findet eine Re-Konfiguration der tradierten Sichtweisen statt. Die Forschung braucht neue Begriffe und Methoden, um dieser Entwicklung gerecht zu werden«, beschreibt Ouaiassa die Ausgangssituation für ein 2013 gestartetes Forschungsprojekt mit dem Titel »Re-Konfigurationen. Geschichte, Erinnerung und Transformationsprozesse im Mittleren Osten und Nordafrika«. Er ist Sprecher des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsnetzwerks, das eine Brücke schlägt zwischen der breiten Regionalkompetenz in Marburg und den Disziplinen Politikwissenschaft, Friedens- und Konfliktforschung, Soziologie, Geschichte, Jura, Medienwissenschaft, vergleichende Kulturforschung und Religionswissenschaft.

»Die kulturelle und politische Aufarbeitung des »Arabischen Frühlings« sind nicht zu trennen«, sagt Friederike Pannewick. So ist es konsequent, dass die Arabistin ihre Arbeit eng mit anderen Fachgebieten verzahnt. Den Rahmen dafür bietet das Marburger »Centrum für Nah- und Mitteloststudien« (CNMS). An dem 2006 eröffneten CNMS ist die Orientforschung in Hessen konzentriert. Mit sieben Professuren ist es die größte universitäre Institution in Deutschland, die sich mit dem Nahen und Mittleren Osten in Forschung und Lehre befasst. Hier arbeiten Politikwissenschaftler, Islamwissenschaftler, Altorientalisten, Wirtschaftswissenschaftler, Arabisten, Iranisten und Semitisten zusammen. Im CNMS verbinden sich zudem geisteswissenschaftliche und sozialwissenschaftliche Herangehensweisen. »Der Wandel in der arabischen Welt lässt sich nur mit einem weiter gefassten Blick begreifen«, sagt Rachid Ouaiassa, seit 2009 Professor für Politik des Nahen und Mittleren Ostens.

Die Wissenschaftler befassen sich mit den Entwicklungen jenseits der tagespolitischen Ereignisse. »Die großen gesellschaftlichen Projekte, mit denen die postkolonialen Staatseliten ihre Macht legitimierten, sind gescheitert. Sie haben ihre Kraft als Utopie und Kitt für den Zusammenhalt der verschiedenen religiösen, sprachlichen und kulturellen Gruppen verloren. Das gilt auch für den Islamismus«, sagt der gebürtige Algerier Ouaiassa. »An ihre Stelle ist jedoch noch nichts Neues getreten.« Es gibt keine Intellektuellen, die den Ton angeben, vielmehr begann alles mit einer dezentralen Revolte der Jugend. Die junge Generation ist in einem Umfeld groß geworden, das geprägt ist von Individualisierung, Urbanisierung und unsicheren Zukunftsperspektiven. Die Marburger Forscher untersuchen, wie die vielfältigen Akteure den Wandel »von unten« herbeigeführt haben und welche eigenen Wirklichkeitsentwürfe sie den staatlich initiierten Sichtweisen auf die Geschichte entgegensetzen. Zum Verständnis des »Arabischen Frühlings« werden auch Vergleiche zu politischen Transformationsprozessen und deren Aufarbeitung in anderen postkolonialen Ländern und in Osteuropa gezogen. Schließlich betrachten die Marburger länderübergreifende Verflechtungen, die Rolle der

»Die Lage in der Region gleicht einem Puzzle«, meint Ouaiassa. Statt der lange Zeit gültigen Erzählungen und Ideologien wie zum Beispiel dem Panarabismus herr-



»Arabellions« Graffiti-Kunst im Martyrereifen. Foto: Dr. Atef Barros



### Gedichte als politische Slogans

»Wenn das Volk eines Tages das Leben einfordert, dann muss das Schicksal das gewähren.// Die Nacht muss weichen, die Ketten gesprengt werden« – dies schrieb ein tunesischer Dichter Anfang des 20. Jahrhunderts. »Es ist kein Zufall, dass diese Verse, die den unwiderruflichen Willen eines Volkes zum selbstbestimmten Leben beschwören, nicht nur im nordafrikanischen Unabhängigkeitskampf, sondern auch in der ›Arabelion‹ seit 2011 auf Demonstrationsplakaten zitiert werden«, sagt Friederike Pannewick. »Dichtung bringt auf den Punkt, was die Menschen bewegt, und spielt eine zentrale Rolle auch auf der politisierten Straße des ›Arabischen Frühlings‹.«

Syrischer Demonstrant. Foto: Dr. Atef Botros



Foto: David Jäsephofer/DFG

### Märtyrer – Kulturelles Gedächtnis

Prof. Dr. Friederike Pannewick forscht über Ästhetik und Politik in der arabischen Literatur, Theater und Performance des 20./21. Jahrhunderts. Sie befasst sich unter anderem mit Märtyrfiguren (siehe Graffiti-Kunst auf S.12) in der zeitgenössischen Kunst:

»Niemand wird als Held oder Märtyrer geboren. Erst durch die stilisierte Würdigung eines heroischen Selbstopfers wird jemand zum Märtyrer. Martyrium braucht eine Bühne, eine Öffentlichkeit, die die Tat bezeugt – und sie dann in Liedern, Gedichten oder Wandbildern preist und verbreitet. In der arabischen Gesellschaft sind Märtyrfiguren seit vielen Jahrhunderten, besonders aber seit Beginn des 20. Jahrhunderts allgegenwärtig. Sie spielen eine wichtige Rolle im Umgang der Menschen mit Leid, stiften Sinn in schwierigen Zeiten, drücken aber auch ihre Hoffnung auf eine bessere Zukunft aus. Literatur, Kunst und Musik sind zentrale Medien mit großer politischer Wirkungsmacht, um diese Märtyrerbilder zu schaffen oder auch kritisch zu hinterfragen.«

Medien sowie den Einfluss globaler Entwicklungen auf die Region, zum Beispiel der Weltwirtschaftskrise.

Die Marburger Forschung hat Modellcharakter für die künftige Gestaltung der Regionalwissenschaften in Deutschland. Die ausgeprägte Interdisziplinarität zwischen Sozial- und Geisteswissenschaften ist eine Besonderheit des Marburger Modells, ebenso der Ansatz, die sozialen, politischen und kulturellen Prozesse aus der Perspektive der Akteure, nicht primär des Systems, zu analysieren. »Wichtig ist uns außerdem, dass wir zusammen mit den Akteuren in der Region forschen, nicht über sie«, sagt Friederike Pannewick. »Deshalb gehören aktive Arabischkenntnisse und Feldforschung bei uns zum Standard. Wir arbeiten daran, dass mehr junge Wissenschaftler mit diesen Kompetenzen heranwachsen.«

#### Weitere Informationen:

Centrum für Nah- und Mitteloststudien (CNMS)  
[www.uni-marburg.de/cnms](http://www.uni-marburg.de/cnms)



## IM UNIVERSUM DER SPRACHE

Verstehen, was Sprache ausmacht: Sie ist die Grundlage der menschlichen Kultur und des sozialen Handelns, dabei enorm vielfältig und ständig im Wandel begriffen. Das wissenschaftliche Verständnis von Sprache, die Linguistik, zählt seit langem zu den Marburger Forschungsschwerpunkten. An der Philipps-Universität ist eines der ältesten sprachwissenschaftlichen Forschungszentren überhaupt angesiedelt. Eine Besonderheit sind die Karten zur Sprachgeographie und Tonaufnahmen, die die deutschsprachigen Dialekte und deren Wandel in den letzten 130 Jahren abbilden. Sprache ist niemals statisch, daher untersuchen die Marburger Linguisten in einem langfristigen Projekt auch den gegenwärtigen Sprachgebrauch und analysieren regionale Trends. Die Wissenschaftler der sprachwissenschaftlichen Disziplinen in Marburg – sprachdynamische Regionalsprachenforschung, Langzeitdiachronie von der althochdeutschen Zeit bis heute, Neurolinguistik, Sprachtheorie und Psycholinguistik – leisten durch die Erforschung linguistischer Basiskategorien einen grundsätzlichen Beitrag zur Linguistik als Wissenschaft. Der Forschungsbau Deutscher Sprachatlas, der 2015 fertig gestellt wird, bietet den Sprachforschern künftig einen zentralen Ort für die Zusammenarbeit.

MODERNE SPRACHDYNAMIKFORSCHUNG

## Dem Sprachwandel auf der Spur

Das Marburger Forschungszentrum Deutscher Sprachatlas ist eine der traditionsreichsten sprachwissenschaftlichen Forschungsstätten weltweit. Hier wurde 1876 die Sprachgeographie begründet. Heute steht das Forschungszentrum für innovative Sprachdynamikforschung: Von mittelalterlichen Urkunden über professionelle Sprachaufnahmen bis hin zu Hirnstrommessungen werden hier unterschiedlichste Forschungsdaten zum Sprachwandel zusammengeführt.

Die Marburger Forscher profitieren von der einzigartigen Situation der deutschen Regionalsprachenforschung: Bereits für das ausgehende 19. Jahrhundert liegen umfassende Daten zu den deutschen Dialekten vor, wie man sie sonst nirgendwo findet. Alles begann mit einem Fragebogen mit 42 kurzen »volkstümlichen« Sätzen, den Georg Wenker ab 1876 an Schulen im Rheinland verschickte. Die Lehrer sollten die Sätze in ihre jeweiligen Ortsdialekte übersetzen. 1887 dehnte Wenker das Erhebungsgebiet auf das ganze Deutsche Reich aus, später kamen deutschsprachige Gebiete außerhalb des Deutschen Reiches hinzu. Insgesamt liegen Daten aus 52.000 Orten vor, die Wenker und sein Nachfolger Ferdinand Wrede auf 1.635 großformatigen Sprachkarten festhielten. Die Karten wurden im Forschungszentrum Deutscher Sprachatlas archiviert, digitalisiert und sind heute vollständig online verfügbar. Diese Anfänge der Sprachgeographie als Wissenschaft stellen einen entscheidenden Bezugspunkt für die moderne Sprachwandelforschung zum Deutschen dar.

Der erste zu übersetzende Satz im Wenker-Fragebogen lautete: »Im Winter fliegen die trockenen Blätter durch die Luft herum.« Schwaben in Echterdingen sagten Ende des 19. Jahrhunderts: »En Wenter fliat dia druckana Bled der en dr Luft rom.« Im keine 20 Kilometer entfernten Esslingen hieß es: »Im Winter flüged di trockne Blätter i dr Luft ume.« Heute hört man solche dialektalen Sätze seltener. Zwar bestehen die deutschen Regionalsprachen weiter, doch verändern sie sich – vor allem durch den Einfluss der Standardsprache, sodass vielerorts regionale Umgangssprachen (»Regiolekte«) die alten Dialekte ersetzen. Mit Einführung der Schulpflicht um 1800 fand das, was später unser Hochdeutsch werden sollte, Einzug in die deutschen Klassenzimmer – und behielt zunächst eine deutliche regionale Färbung als »landschaftliches Hochdeutsch«. Ab 1898 wurde dann die Aussprache des Deutschen zunächst für die Theaterbühne normiert (Th. Siebs: »Deutsche Bühnenaussprache«). Deren Verbrei-

tung über Rundfunk und Fernsehen im 20. Jahrhundert trug dazu bei, dass unsere heutige Standardsprache zu einem gemeinsamen Bezugspunkt für alle Sprecher des Deutschen werden konnte.

»Sprache ist die Grundlage unseres sozialen Handelns – und ein hoch spannender Forschungsgegenstand«, sagt Professor Dr. Jürgen Erich Schmidt, Direktor des Forschungszentrums Deutscher Sprachatlas. »Sie ist permanent im Wandel. Wir wollen verstehen, warum das so ist, unter welchen Bedingungen und in welcher Geschwindigkeit dies geschieht.« In Marburg ist es ausgehend von den Wenker-Karten möglich, über mehr als ein Jahrhundert hinweg den Sprachwandel im Deutschen zu erforschen. Weil Sprachforscher der Methodik von Wenker nicht ganz trauten, folgten über das 20. Jahrhundert hinweg weitere Erhebungen. »Das erweist sich heute als Glück«, sagt Schmidt. »Die Zweifel waren aus heutiger Sicht unbegründet, doch führten sie dazu, dass wir nun zahlreiche Dokumente haben, also unterschiedliche »Zeitschnitte«, um den Sprachwandel nachzuvollziehen. Ab etwa 1920 gibt es zudem Sprachaufnahmen auf Tonträgern, die uns zusätzliches Material liefern.«

Die Karten Georg Wenkers sind in einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekt am Forschungszentrum Deutscher Sprachatlas wissenschaftlich aufbereitet worden. Der »Digitale Wenker-Atlas« steht der Öffentlichkeit online zur Verfügung und ist inzwischen Teil eines umfangreichen sprachgeographischen Informationssystems. Dieses stellt für Sprachwissenschaftler, aber auch für den interessierten Laien eine faszinierende Quelle dar, um die unterschiedlichsten Erscheinungsformen der deutschen Dialekte zu studieren. Zur Verfügung stehen digitalisierte Originalfragebögen, dynamisch überblendbare Sprachkarten aus verschiedenen Zeiten, Tondokumente der alten Ortsdialekte und neuere Materialien zum aktuellen Sprachgebrauch.



Foto: Rolf K. Wegst

Sprachwissenschaftler Rico Stiel vom Forschungsprojekt REDE mit einer Sprachkarte, auf der Dialektgrenzen dokumentiert sind

Das interaktive Informationssystem entsteht im Rahmen des 2008 begonnenen Forschungsvorhabens »Regionalsprache.de« (REDE). Die Mainzer Akademie der Wissenschaften und der Literatur fördert das Langzeitprojekt bis 2027 mit rund 15 Millionen Euro. Die Sprachwissenschaftler rund um die Projektleiter Professor Schmidt, Professor Herrgen und Professor Kehrein erheben und analysieren im Rahmen von REDE den gegenwärtigen Sprachgebrauch und die regionale Variation in Deutschland anhand von 150 ausgewählten Orten. Dabei beobachten sie auch aktuell stattfindende Umbrüche: So geht in Hessen derzeit der Trend weg von den Dialekten hin zur Durchsetzung des Hochdeutschen. »Die Möglichkeit zur umfassenden Beschreibung von Variation und Wandel in den deutschen Regionalsprachen ist in dieser Form einmalig«, sagt Schmidt. »Und durch den Einsatz neuer Methoden wie etwa Hirnstrommessungen in der Neurolinguistik verstehen wir besser, wie Sprache wahrgenommen und kognitiv organisiert wird. Daraus können wir auch Prognosen über künftigen Sprachwandel ableiten.« Neben der sprachwissenschaftlichen Grundlagenforschung bietet REDE vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, zum Beispiel für die Entwicklung sprachgesteuerter Computer-Software oder für Kriminologen, die bei Ermittlungen auf forensische Spracherkennung setzen.

Bis Herbst 2015 erhält das Forschungszentrum Deutscher Sprachatlas einen von Bund und Land finanzierten Neubau in der Marburger Innenstadt. »Das Gebäude wird die breit gefächerte Marburger Sprachwissenschaft räumlich vereinen und bietet so wegweisende Perspektiven für die Zusammenarbeit der einzelnen Teildisziplinen«, erläutert Schmidt. »Der Forschungsbau stärkt die Linguistik in Marburg, die sich nicht nur durch ihre Methodenvielfalt auszeichnet, sondern auch durch eine gemeinsame Perspektive auf die Grundlage der menschlichen Kultur – die Sprache.«

### Weitere Informationen:

Die interaktive Forschungsplattform von REDE im Internet:  
[www.regionalsprache.de](http://www.regionalsprache.de)

Forschungszentrum Deutscher Sprachatlas:  
[www.deutscher-sprachatlas.de](http://www.deutscher-sprachatlas.de)

## LINGUISTISCHE BASISKATEGORIEN BEGRÜNDEN

# Ein Gehirn, tausende Sprachen – wie geht das?

Obwohl alle Menschen ein ähnlich strukturiertes Gehirn haben, gibt es 6.000 verschiedene Sprachen, die sich zudem ständig wandeln. Was ist in der Verschiedenheit gleich? Lassen sich Basiskategorien nachweisen, die in allen Sprachen vorkommen? Marburger Linguisten erforschen grundlegende Bausteine von Sprache und nutzen die Erkenntnisse auch, um Diagnose und Therapie von Sprachstörungen zu verbessern.

Sprache wandelt sich permanent. Warum und unter welchen Bedingungen ist das so? »Das ist weitgehend ein Rätsel«, sagt der Marburger Linguist Professor Dr. Richard Wiese. »Für grundlegende Antworten brauchen wir empirisch fundierte Basiskategorien, auf deren Grundlage wir exakte sprachwissenschaftliche Begriffe und Theorien entwickeln können. Das geht nur mit interdisziplinärer Forschung.«

An der Philipps-Universität arbeiten theoretische Linguistik und andere sprachwissenschaftliche Disziplinen seit 2000 eng zusammen. »Das ermöglicht empirische Forschung in einer neuen Qualität«, so Professor Wiese. Da sind einerseits die Disziplinen, die eine direkte Beobachtung von Spracherwerb und Sprachverarbeitung erlauben (Neurolinguistik und Klinische Linguistik). Sie geben Einblicke in die Funktionsweise und Organisation des menschlichen Gehirns beim Spracherwerb sowie bei der Wahrnehmung und Verarbeitung von Sprache. Andererseits hat die Regionalsprachenforschung mit dem sprachdynamischen Testlabor ([regionalsprachen.de](http://regionalsprachen.de)) ein Instrument geschaffen, mit dem sich der Sprachwandel über einen Zeitraum von 130 Jahren exakt verfolgen lässt.

Das bestehende Forschungsprogramm ist Fundament und Rahmen für den 2012 gestarteten LOEWE-Schwerpunkt »Fundierung linguistischer Basiskategorien«, ein Thema, das für alle linguistischen Disziplinen grundlegend ist. Die Marburger Wissenschaftler arbeiten daran, Basiskategorien in zwei Bereichen nachzuweisen. Der Forschungsbereich »Phonologisches Wort« untersucht die Produktion und das Verstehen von Lauteinheiten in der gesprochenen Sprache. Die Verknüpfung der Zeichen zu einer Bedeutung wird im Forschungsbereich »Syntax-Semantik-Schnittstelle« analysiert.

Das phonologische Wort ist eine zentrale Einheit in der Grammatik sowie bei der Sprachverarbeitung, und somit ein Kandidat für eine linguistische Basiskategorie. Seinen wesentlichen Eigenschaften wollen die Forscher in mehreren Teilprojekten nahekommen. Sie fragen zum Beispiel, wie Kinder Laute und Wörter lernen und im Zusammenhang damit die Fähigkeit entwickeln, intuitiv richtige grammatische Strukturen zu bilden (siehe Kästen rechts). Weitere Projekte befassen sich mit lautlichen Grenzmarkierungen, zum Beispiel Wortakzent, Satzmelodie, Rhythmus, und mit grafischen Grenzsignalen wie Getrennt- oder Zusammenschreibung, etwa bei den Erstverschriftungen im Althochdeutschen und Altirischen.

Eines der größten Probleme der Sprachtheorie ist, das Verhältnis von formalem Satzaufbau und inhaltlicher Bedeutung zu bestimmen. »Die Mechanismen, die dabei wirksam sind, sind mit Sicherheit Basiskategorien«, sagt Wiese. Die Marburger Sprachgeschichtsforscher untersuchen in mehreren Projekten, wie sich die Verwendung des Kasus in verschiedenen Sprachen und über lange Zeiträume hinweg entwickelt hat. Sie analysieren, wie es dazu kam, dass sich in vielen Sprachen die Zahl der Kasus verringert hat. Zum Beispiel gab es im Althochdeutschen fünf Kasus, während heutige deutsche Dialekte oft nur drei kennen. Untersucht wird auch, welche alternativen Formen entstanden sind, um beispielsweise Subjekt und Objekt genau zu unterscheiden.

»Insgesamt verfolgen wir mit dem LOEWE-Schwerpunkt die Strategie, Basiskategorien ausfindig zu machen, indem wir mehrere unabhängige methodische Zugriffe auf die gleichen Phänomene anwenden«, erklärt Wiese. »Die Voraussetzungen für diesen Ansatz haben wir in Marburg durch die bisherigen Forschungsprojekte in breitem Umfang geschaffen.«

Klinische Linguistik: Mit Hirnstrommessungen wird in Marburg unter anderem untersucht, wie Kinder mit unterschiedlicher Sprachentwicklung phonologisch veränderte Wörter verarbeiten.



Foto: Dr. Frank Domahs

## WIE KINDER BASISKATEGORIEN LERNEN UND VERARBEITEN

## Morphophonologische Studien in der Klinischen Linguistik

Das dritte Lebensjahr ist eine wichtige Phase in der Sprachentwicklung von Kindern. Sie lernen eine Sprache meist mühelos, indem sie ihre Eltern sprechen hören. Grammatische Regeln erschließen sie sich intuitiv, Kindern mit verzögerter oder gestörter Sprachentwicklung fällt das jedoch schwer. Dem geht die Marburger Expertin für Klinische Linguistik Professorin Dr. Christina Kauschke zusammen mit ihrem Team in verschiedenen Studien nach. Mithilfe von Hirnstrommessungen wird untersucht, wie Kinder phonologisch veränderte Wörter verarbeiten. Beispiel: Wie reagieren Kinder mit unterschiedlichen Sprachentwicklungsverläufen, wenn sie statt »Honig« das Wort »Pohnig« hören? »Wir wollen herausfinden, ob Kinder mit verzögerter Entwicklung anders mit solchen sprachlichen Reizen umgehen«, sagt Christina Kauschke. »Die neurophysiologischen Daten sollen helfen, Therapieansätze zu entwickeln.«

Auf der Basis von Studien mit fünf- bis siebenjährigen Kindern zur Bildung von Plural- und Partizipformen konnten bereits Ergebnisse für die Entwicklung gezielter Therapieansätze gewonnen werden. Kinder mit einer Sprachstörung bilden im Vergleich zu gleichaltrigen und jüngeren Kindern mit typischer Sprachentwicklung sowohl bei realen Wörtern als auch bei Fantasiewörtern

seltener die korrekten Formen. Aus »Paketen« werden »Pakets« und für das Wort »trompeten« bilden manche Kinder das Partizip »getrompetet«. »Derartige Symptome lassen sich gut korrigieren«, berichtet Christina Kauschke. »Wir haben Therapie- und Fördermaterialien entwickelt, in denen wir die richtige Formenbildung in Geschichten verpacken. Durch diesen speziell gestalteten Input entwickelt sich allmählich das Sprachgefühl für harmonisch klingende Formen.«

Bei Erwachsenen, die in ihrer Kindheit eine Sprachstörung hatten, zeigen sich auch viele Jahre später noch verzögerte Reaktionen im Gehirn. Das hat der Marburger Linguist Dr. Frank Domahs in einer Studie mittels Elektroenzephalografie nachgewiesen. Falsche Partizipienbildung – zum Beispiel »gemarschiert« – wurde von Erwachsenen mit einer früheren Störung erst nach 400 Millisekunden registriert, Probanden ohne Sprachstörung in der Kindheit reagierten bereits nach 150 Millisekunden. Diese langfristigen Auswirkungen auf die Gehirnreaktion waren bislang nicht bekannt.

Der LOEWE-Schwerpunkt »Fundierung linguistischer Basiskategorien« und das langfristige Forschungsprogramm »Theorie und Empirie der Sprachdynamik und Sprachkognition« im Internet: [www.uni-marburg.de/fb09/lingbas](http://www.uni-marburg.de/fb09/lingbas)

DEN RAHMEN FÜR INTERNATIONALES DENKEN UND HANDELN SCHAFFEN

## Wissenschaft kennt keine Grenzen

Seit knapp fünf Jahrhunderten wird in Marburg international geforscht und gelehrt. Heute unterstützen das International Office und das Welcome Centre ausländische Wissenschaftler und Studierende während ihres Aufenthalts an der Philipps-Universität.

Die Philipps-Universität ist eine international agierende, weltoffene Universität. Sie will ihre Wettbewerbsfähigkeit im internationalen und nationalen Kontext weiter steigern. Die Internationalität bereichert die Qualität von Forschung und Lehre. Schließlich will die Universität dazu beitragen, dass ihre Absolventen sprachliche Fähigkeiten und interkulturelle Kompetenz erwerben. Dies ist nicht nur für die persönliche Entwicklung jedes Einzelnen wichtig, sondern erweitert auch berufliche Möglichkeiten im In- und Ausland.

»Internationalität kann nicht auf Mobilität und Austausch zwischen Hochschulen beschränkt bleiben«, sagt Prof. Dr. Katharina Krause, Präsidentin der Philipps-Universität Marburg. »Vielmehr geht es aus unserer Sicht darum, sich als Hochschule den wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Herausforderungen zu stellen und geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um internationales Denken und Agieren im Bereich der Wissenschaft zu fördern. Wir wollen dazu beitragen, die Entwicklung eines internationalen und interkulturellen Wissenschaftsraums weiter zu stärken und diesen Raum zu erweitern.«

Günstige Rahmenbedingungen für die Internationalisierung zu schaffen und diese den Bedürfnissen von Wissenschaft und Forschung ebenso wie von Lehre und Studium anzupassen, das sind die Aufgaben des Dezernats für Internationale Angelegenheiten und Familienservice. Das Dezernat wurde 2011 vom Präsidium eingerichtet mit dem Ziel, die Querschnittsaufgaben in diesem Bereich organisatorisch zu bündeln.

Die Philipps-Universität unterhält Kooperationsverträge auf Hochschulebene mit 68 Hochschulen im außereuropäischen Ausland und ERASMUS-Verträge mit mehr als 300 europäischen Hochschulen. Darüber hinaus gibt es eine große Anzahl von Kooperationsverträgen auf Fachbereichs- und Institutsebene. Schwerpunkte der internationalen Zusam-

menarbeit finden sich in länderübergreifenden Forschungsvorhaben sowie in internationalen Nachwuchsprogrammen. Beispiele dafür sind das DFG-finanzierte deutsch-kanadische Graduiertenkolleg »The Brain in Action«, das deutsch-russische Graduiertenkolleg »Enzyme und Multienzymkomplexe«, ein Verbundprojekt mit der Universität Gießen, der Lomonossow-Universität Moskau und der Russischen Akademie der Wissenschaften, sowie die »International Max Planck Research School for Environmental, Cellular and Molecular Microbiology«, eine Kooperation der Philipps-Universität mit dem Max-Planck-Institut für Terrestrische Mikrobiologie.

Mit den beiden chinesischen Universitäten Zhejiang University in Hangzhou und Tongji University in Shanghai sowie der englischen University of Kent verbindet die Philipps-Universität besondere strategische Beziehungen. Inhalte dieser Partnerschaften sind eine enge Zusammenarbeit in Forschung und Lehre und im Bereich der Verwaltung. Dazu gehören gemeinsame Forschungsprojekte und -verbände, Nachwuchsförderung etwa in Form von binationalen Promotionen und Summer Schools, Double- und Joint-Degree-Studiengänge, strukturierte Mobilitätsmodelle sowie gemeinsame Weiterqualifizierungsmaßnahmen der Hochschulverwaltung. Strategische Partnerschaften bedeuten für die Philipps-Universität langfristig auch die Erhöhung ihrer Sichtbarkeit und die Steigerung der Attraktivität von Marburg als Wissenschaftsstandort.

Sowohl für ausländische Wissenschaftler als auch für Studierende aus aller Welt ist die Philipps-Universität eine bevorzugte Adresse: Mehr als 20 von der Alexander von Humboldt-Stiftung geförderte Preisträger und Stipendiaten forschen jährlich an der Philipps-Universität, knapp ein Viertel der Promovierenden kommt aus dem Ausland nach Marburg. Über 3.000 Studierende aus 130 Ländern studieren an der Philipps-Universität in Bachelor- und Master-Studiengängen. Kooperationsabkommen und Austauschvereinbarungen mit Hochschulen in mehr als zwei Dutzend Ländern und internationale Sonderprogramme wie das »International Undergraduate Study Program« und die »International Summer University« eröffnen Studierenden aus dem In- und Ausland die Möglichkeit, außerhalb der Landesgrenzen

akademische Erfahrungen zu sammeln und Kompetenzen zu erwerben, die für das Handeln und Arbeiten in internationalen und interkulturellen Zusammenhängen unabdingbar sind. Das Gästehaus der Universität und das 2014 neu eröffnete Max Kade Zentrum bieten ausländischen Wissenschaftlern und Studierenden gastfreundliche Wohnmöglichkeiten.

Als eine der ersten Universitäten in Deutschland hat die Philipps-Universität 2007 ein Welcome Centre eingerichtet, das mit einem breiten Serviceangebot dafür sorgt, dass Wissenschaftler aus dem Ausland sich während ihres Aufenthaltes in Marburg auf Forschung und Lehre konzentrieren können.

### Die internationale Ausrichtung der Philipps-Universität in Zahlen

- 68 Kooperationsabkommen mit Hochschulen außerhalb Europas
- 600 ERASMUS-Verträge mit europäischen Hochschulen
- 3.000 ausländische Studierende aus 130 Ländern
- Eine der 20 beliebtesten Hochschulen in Deutschland für chinesische und US-amerikanische Studierende (Quelle: »Wissenschaft weltoffen« 2012 und 2014)
- 400 ausländische Studierende jährlich in Austauschprogrammen
- 500 Studierende gehen für ein oder zwei Semester ins Ausland
- 20 Prozent der Promovierenden kommen aus dem Ausland

Weitere Informationen:  
[www.uni-marburg.de/international](http://www.uni-marburg.de/international)

Die pakistanische Biophysikerin Dr. Sumaira Ashraf ist bis 2016 zu Gast am Marburger Fachbereich für Physik. Die Trägerin des Georg Forster-Forschungsstipendiums der Alexander von Humboldt-Stiftung beschäftigt sich in der Arbeitsgruppe Biophotonik unter Leitung von Professor Dr. Wolfgang Parak mit Nanopartikel-forschung. Ashraf ist begeistert von Marburg und dem angenehmen Arbeitsumfeld in der Biophotonik. Mit der Arbeitsgruppe Biophotonik unterhält sie seit längerem Beziehungen, bereits 2010 schrieb sie einen Teil ihrer Doktorarbeit in Marburg.



## DEM GEHIRN BEI DER ARBEIT ZUSCHAUEN

Wahrnehmen, erkennen, handeln: Unser Gehirn vollbringt Höchstleistungen, wenn es darum geht, die Umwelt zu erfassen. Erfahrungen gehen nicht einfach am Menschen vorüber, sondern prägen sich buchstäblich in unser Gehirn ein. Das Entstehen des Bildes von der Welt in unseren Köpfen ist ein faszinierender Vorgang, der im Mittelpunkt neurowissenschaftlicher Forschungsarbeiten steht. In Marburg spielt dabei ein systemischer Ansatz eine wichtige Rolle. Marburger und Gießener Forscher befassen sich mit der alltäglichen Wahrnehmung, zum Beispiel ist das Zusammenspiel von Auge und Hand ein komplexer Vorgang, an dem viele Hirnregionen beteiligt sind. Dies bemerkt man oft erst dann, wenn es nicht funktioniert, etwa bei neurologischen Erkrankungen wie Parkinson oder nach einem Schlaganfall. Auch psychische Erkrankungen spiegeln sich im Gehirn wider, teils dies genetisch bedingt, teils führen Umweltbedingungen und Erfahrungen dazu, dass sich die Nutzung von Genen im Gehirn verändert. Diese Zusammenhänge klären klinische Neurowissenschaftler, Psychiater und Psychologen gemeinsam auf. Die experimentelle, neurobiologische Orientierung ist ein Aushängeschild der Marburger Psychologie und Neurowissenschaften.

PROZESSE DER WAHRNEHMUNG UND HANDLUNG VERSTEHEN

## Die Sinne – Fenster zur Welt

*Der Mensch nimmt seine Umgebung mit allen Sinnen wahr und interpretiert sie. Wie das Gehirn die unendlich vielen Sinneindrücke verarbeitet und wie diese das alltägliche Handeln steuern, erforschen Marburger, Gießener und kanadische Wissenschaftler in gemeinsamen Forschungsprojekten. Dabei gehen sie neue Wege – sie untersuchen Wahrnehmungsprozesse in der natürlichen Umgebung.*

Wenn man durch eine Landschaft geht, nimmt man die eigene Bewegung über die Netzhaut als sogenannten optischen Fluss wahr. Die Sinne sind wie ein Fenster, an dem die Welt vorbeizuströmen scheint. »Wir bewegen unsere Augen häufiger als wir Herzschläge haben«, sagt Professor Dr. Frank Bremmer. Untersuchungen mit einer Kamera, die Bewegungen wie unsere Augen ausführt, zeigen, dass das Eingangssignal, welches unser Gehirn verarbeiten muss, stark verwackelt ist. Davon bemerken wir jedoch nichts. Um die Eindrücke zu verarbeiten, werden verschiedene Strukturen und Zellen im Gehirn aktiv. Bremmer erklärt, welche Leistung das Gehirn beim Sehen erbringt: »Eine einzelne Nervenzelle nimmt nur einen kleinen Ausschnitt der Welt wahr. Was wir sehen, besteht aus zusammengesetzten Bildern vieler Nervenzellen.«

In den letzten Jahren wurde viel über die Verarbeitung von Sinneseindrücken geforscht, doch meist in begrenzten Funktionsbereichen. So fanden Experimente zum Sehen in abgedunkelten Räumen, Experimente zum Hören in schallreduzierten Versuchskammern statt. »Wir gehen nun einen Schritt weiter und untersuchen Wahrnehmung in der natürlichen Umgebung, in der oft mehrere Sinne gleichzeitig angesprochen werden«, sagt Neurophysiker Bremmer. In dem von ihm und seiner Gießener Kollegin Professorin Dr. Katja Fiehler geleiteten Internationalen Graduiertenkolleg (IGRK) »Gehirn und Handlung« (»The Brain in Action – BrainAct«) untersuchen Neurophysiker gemeinsam mit Psychologen, Medizinerinnen und Sportwissenschaftlern aus Marburg und Gießen sowie aus drei kanadischen Universitäten die neuronalen Prozesse, die Wahrnehmungen und Handlungen des alltäglichen Lebens zugrunde liegen.

In einer natürlichen Umgebung ist man meist mehreren Reizen ausgesetzt, ein einfaches Alltagsbeispiel ist das Umläutern einer Seite. Man sieht die Seite und hört unmittelbar das Papiergeräusch. Dagegen können beim Umläutern am Computer das optische und akustische Signal zeitlich entkoppelt werden. Die Forscher testen, wie lange Signale zeitlich auseinander liegen dürfen, damit man sie noch einander zuordnet. »Kollegen im IGRK untersuchen,

wie liberal das sensorische System ist. Dabei betrachten sie auch, inwieweit sich das Integrationsfenster bei der Wahrnehmung zusammengehöriger Signale bei Gesunden und Kranken unterscheidet«, erklärt Bremmer die Relevanz der Forschung für die Medizin.

Wie bestimmen sensorische Reize unsere Handlungen? Die Wissenschaftler analysieren, wie das Sehen genutzt wird, um Objekte zu greifen – zum Beispiel fasst man ein rohes Ei anders an als einen Stein. Im Gehirn laufen dabei mehrere Schritte ab. »Vom sensorischen System über die Nervenfasern bis zum motorischen System gibt es nur wenige Verarbeitungsstufen im Gehirn«, erläutert Bremmer. »Diese Grundlagenforschung über den Zusammenhang von Sensorik und Motorik für Handlungen in der Umwelt könnte beispielsweise für die Roboterentwicklung relevant werden.«

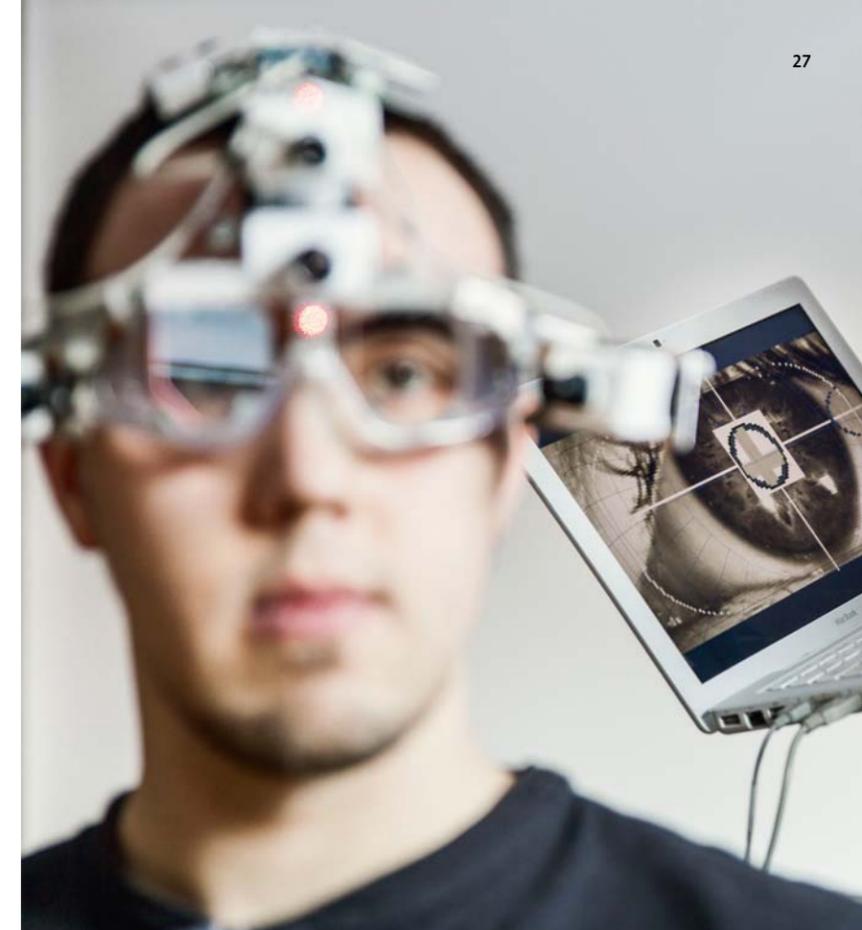
Das Gehirn verarbeitet permanent Rauminformationen. Wie gelingt das? »Die Netzhaut nimmt visuelle Signale auf, die mit der Information über die Blickrichtung des Auges kombiniert werden. So kodiert das Gehirn die Position von Objekten im Raum«, erklärt Bremmer. Das ermöglicht zum Beispiel, eine Tasse zu greifen, auch wenn man den Blick in eine andere Richtung wendet. Das Verständnis über die Abläufe im Gehirn von der Wahrnehmung über die Raumkodierung im Gehirn bis zur Bewegung der Hand oder des eigenen Körpers soll zukünftig nach Möglichkeit auch im medizinischen Bereich Anwendung finden. »In Zusammenarbeit mit Neurologen des Universitätsklinikums und den kanadischen Kollegen streben wir an, neurodegenerative oder psychiatrische Erkrankungen noch zuverlässiger diagnostizieren zu können«, sagt Bremmer.

»Die Expertisen der am Graduiertenkolleg beteiligten Hochschulen ergänzen sich ideal«, meint Bremmer. »Die Nachwuchswissenschaftler lernen während ihres sechs- bis zwölfmonatigen Aufenthaltes an einer der Partneruniversitäten ein breites Spektrum an neurowissenschaftlichen Themen und Methoden kennen.« Die Marburger und Gießener Wissenschaftler arbeiten mit Patienten, die

an neurologischen oder psychiatrischen Erkrankungen leiden, führen Studien zu Aufmerksamkeit und Blickbewegungen in natürlicher Umgebung durch, erforschen die Entwicklung von Kindern aus psychologischer Sicht und und machen sportwissenschaftliche Untersuchungen. Einer der kanadischen Forschungspartner führt Untersuchungen an einem Tiermodell für Parkinson durch, andere Gruppen können mithilfe der Transkraniellen Magnetstimulation Populationen von Nervenzellen gezielt kurzzeitig beeinflussen. »Eine der drei kanadischen Partneruniversitäten verfügt zudem über eine Apparatur, mit der wir Gehirnaktivität während Arm- und Handbewegungen im Magnetresonanztomografen messen können«, berichtet Bremmer über die Zusammenarbeit.

Bremmer und viele der Wissenschaftler aus dem Graduiertenkolleg vertiefen diese Forschungsthemen in dem von dem Gießener Psychologen Professor Dr. Karl Gegenfurtner geleiteten Sonderforschungsbereich (SFB) »Kardinale Mechanismen der Wahrnehmung: Prädiktion, Bewertung, Kategorisierung«. Diese Mechanismen erzeugen komplexe interne Modelle der Umwelt, die im Gehirn permanent weiterentwickelt und angepasst werden. So können wir unsere Umgebung sowie Konsequenzen von Handlungen voraussagen, mögliche Risiken oder Nutzen von Reizen und Reaktionen bewerten und die unendliche Menge an Umweltsignalen in Kategorien ordnen. Der 2014 begonnene SFB hat sich zur Aufgabe gemacht, diese Mechanismen auf der Verhaltensebene zu definieren, neuronale Funktionskreise zu identifizieren und deren Funktionsweise in mathematischen Modellen abzubilden. Im SFB wird auch ergründet, wie sich die Mechanismen der Wahrnehmung über die Lebensspanne entwickeln und welche Bedeutung sie bei psychiatrischen Krankheiten haben.

»Das Graduiertenkolleg und der SFB sind perfekte Beispiele für die gelebte Forschungsallianz, die Marburg und Gießen 2012 geschlossen haben«, sagt Bremmer. »Wir arbeiten seit vielen Jahren eng zusammen. Solch umfangreiche Forschungsprogramme können wir nur umsetzen, wenn wir unsere Kompetenzen bündeln.«



### Weitere Informationen:

Internationales Graduiertenkolleg (IGRK 1901) »Gehirn und Handlung«: [www.forschungsallianz-gi-mr.de/projekte/gradkolleg/brain](http://www.forschungsallianz-gi-mr.de/projekte/gradkolleg/brain)

Sonderforschungsbereich »Kardinale Mechanismen der Wahrnehmung: Prädiktion, Bewertung, Kategorisierung«: [www.forschungsallianz-gi-mr.de/projekte/sfb/wahrnehmung](http://www.forschungsallianz-gi-mr.de/projekte/sfb/wahrnehmung)

NEUROBIOLOGISCHE SPURENSUCHE BEI PSYCHISCHEN ERKRANKUNGEN

## Komplexes Zusammenspiel von Umwelt und Genen

Die Fähigkeiten, Freude zu empfinden, mit anderen Kontakt zu pflegen oder die Umwelt adäquat zu erleben, sind bei vielen Menschen mit psychischen Erkrankungen eingeschränkt. Doch wie kommt es überhaupt dazu? Liegt es mehr an den Genen oder am sozialen Umfeld? Marburger Psychologen und Mediziner erforschen Zusammenhänge und Risikofaktoren.

Jeder Mensch kennt leichte Stimmungsschwankungen. Sie gehen meist nach kurzer Zeit vorbei, und man entwickelt im Laufe des Lebens Strategien, um aus einem vorübergehenden kleinen Tief wieder herauszukommen. Menschen mit einer psychischen Erkrankung gelingt das nicht. In der akuten Krankheitsphase können sie ihre Stimmung nicht mehr selbst regulieren, die Wahrnehmung der Umgebung und anderer Menschen ist verzerrt, sie ziehen sich zurück und reagieren anders als sonst. Warum ist das so, was passiert im Gehirn bei bestimmten Emotionen, was bestimmt soziales Verhalten und Kommunikation? »Bekannt ist, dass Erkrankungen wie Depressionen oder Schizophrenie sowohl durch die Gene als auch die Umwelt entstehen. Doch welche Faktoren wie zusammenwirken müssen, damit eine Krankheit ausbricht, ist noch immer ein weites Forschungsfeld«, sagt der Marburger Psychologe Professor Dr. Rainer Schwarting.

Um diese Fragen zu beantworten und Therapien weiter zu entwickeln, ist es zunächst wichtig, die neuronalen, genetischen und umweltbedingten Grundlagen von Emotionen und Verhalten zu verstehen. Dafür arbeitet Schwarting mit Mäusen und Ratten, da man bei ihnen genetische und Umwelteinflüsse genau kontrollieren kann. Der Biopsychologe und sein Team studieren neurobiologische Vorgänge anhand der Kommunikation der Nager. »Mäuse und Ratten verständigen sich über Rufe im Ultraschallbereich«, erklärt Schwarting. »Je nach Lebensalter, Gefühlszustand und sozialem Kontext können wir verschiedene Klassen der Ultraschallvokalisation unterscheiden.«

Werden neugeborene Ratten in den ersten Lebenstagen von Mutter und Nest getrennt, produzieren sie isolationsinduzierte Rufe im Frequenzbereich von 40 Kilohertz (kHz), die vermutlich negative Emotionen des Verlassenseins und der Angst ausdrücken. Sie bewirken, dass sich die Mütter stärker um ihren Nachwuchs kümmern. Isolierte Jungtiere bleiben auch im Erwachsenenalter

ängstlich und vererben dies sogar an ihre Nachkommen, da sich durch Erfahrungen die Nutzung von bestimmten Genen im Gehirn ändern kann. Diese Zusammenhänge von sozialen Umweltfaktoren und Genen werden für die Angst- und Depressionsforschung genutzt. Positive Emotionen drücken die Tiere dagegen beim Spiel mit Artgenossen aus. Dabei senden die Ratten interaktionsinduzierte Rufe auf einer Frequenz von 50 kHz aus. Sie bewirken, dass sich andere Tiere nähern. Dieser Effekt wird vermutlich über das Dopaminsystem im Gehirn vermittelt, das auch als Belohnungssystem bekannt ist. Senden Tiere wenige solcher sozialen Rufe aus, kann dies ein Hinweis auf krankheitsrelevante Störungen im Sozialverhalten und in der Kommunikation sein.

Der Marburger Psychologe arbeitet eng mit dem Mediziner Professor Dr. Tilo Kircher zusammen. Die Ergebnisse aus den Tiermodellen fließen in dessen klinische Forschung ein – umgekehrt geben die Wissenschaftler um Kircher Hypothesen aus der Arbeit mit Patienten an die Psychologen weiter, damit sie im Tiermodell Grundlagen erforschen. Kircher und sein Team untersuchen Erkrankte und Gesunde mithilfe der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT). Durch das bildgebende Verfahren haben die Wissenschaftler unter anderem die Interaktion zwischen dem Gen des Oxytocinrezeptors und dem Umweltfaktor »enge Bindung an die Eltern in der Kindheit« belegt.

Der Zusammenhang von genetischen und umweltbedingten Ursachen psychischer Erkrankungen spielt auch in der DFG-Forschergruppe 2107 eine wichtige Rolle, in der Kircher und Schwarting Risikofaktoren für psychische Erkrankungen untersuchen. Eines ihrer gemeinsamen Themen ist der Einfluss des Umweltfaktors »väterliches Alter« auf die Entstehung von Schizophrenie und Autismus. Da es immer mehr Väter gibt, die bei der Geburt ihrer Kinder über 50 Jahre alt sind, ist dies international ein aktuelles Forschungsthema geworden. Bevölkerungsstudien in Skandinavien haben den Zusammenhang



Verhaltenstest im Achtarm-Labyrinth: Die Ratte wird im Experiment mit Rufen ihrer Artgenossen beschallt. Die Forscher analysieren dabei das Verhalten des Tieres.

schon vor Jahren belegt. »Die Gründe dafür liegen im komplexen Zusammenspiel von Genen und Umweltfaktoren, doch wie dies genau funktioniert wissen wir noch nicht«, berichtet Kircher. Im Laufe des menschlichen Lebens finden in den Keimdrüsen pro Jahr zirka zwei Genmutationen statt. Diese Veränderungen werden an die nachfolgende Generation weitergegeben. Je älter ein Vater ist, desto mehr Mutationen sind möglich und desto höher ist das Risiko, zu erkranken. »Ein hohes väterliches Alter führt aber keineswegs zwangsläufig zu einer psychischen Erkrankung, das Risiko ist durchschnittlich um den Faktor 1,3 erhöht und steigt mit dem Alter linear an«, erklärt Kircher. Um grundsätzlich zu verstehen, wie der Risikofaktor väterliches Alter zur Erkrankung führt, untersucht das Team von Schwarting Ratten mit älteren Vätertieren. Diese werden von klein an intensiv auf Auffälligkeiten im Verhalten hin beobachtet, zum Beispiel sozialer Rückzug und das Fehlen von sozialen Rufen. »Im Tiermodell lässt sich die Kausalkette, warum die Erkrankung zu welchem Zeitpunkt und aufgrund welcher Faktoren ausbricht, gut experimentell nachvollziehen«, sagt Schwarting. Die Erkenntnisse sollen helfen,

Erkrankungen beim Menschen besser zu verstehen. »Da Menschen oft zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr erkranken, wollen wir wissen, was sich genau in diesem Alter im Gehirn ändert«, berichtet Kircher über eine der grundlegenden Fragen in der gemeinsamen Forschung der Marburger Psychologen und Mediziner.

### Weitere Informationen:

Verhaltensneurowissenschaften:  
[www.uni-marburg.de/fb04/team-schwarting](http://www.uni-marburg.de/fb04/team-schwarting)

DFG-Forschergruppe 2107 »Neurobiology of Affective Disorders: A Translational Perspective on Brain Structure and Function«: [www.ukgm.de/ugm\\_2/deu/umr\\_psy/28027.html](http://www.ukgm.de/ugm_2/deu/umr_psy/28027.html)

## IM SCHNITTFELD VON WISSENSCHAFT UND WIRTSCHAFT

## Innovationen »Made in Marburg«

Wissenschaft liefert die Grundlage für Innovationen. Doch wie werden aus Forschungsergebnissen Produkte? Forscher und Unternehmen auf diesem Weg zu begleiten ist seit 18 Jahren das Kerngeschäft der TransMIT Gesellschaft für Technologietransfer mbH. Für die Philipps-Universität verwaltet das Unternehmen über 500 Patentanmeldungen.

»Technologietransfer hat viel zu tun mit Innovationsbereitschaft, Mut und Gespür für die richtige Investition zur richtigen Zeit«, sagt Dr. Michaela Kirndörfer, Leiterin der Patentabteilung der TransMIT GmbH, die 1996 als Gemeinschaftsprojekt der mittelhessischen Hochschulen, Volksbanken, Sparkassen sowie der IHK Gießen-Friedberg gegründet wurde. Für die Philipps-Universität, die zusammen mit der Justus-Liebig-Universität Gießen und der Technischen Hochschule Mittelhessen zu den Hochschul-Gesellschaftern der TransMIT gehört, ist das Unternehmen eine feste Größe geworden.

TransMIT erschließt und vermarktet – mit rund 167 Angestellten und Büros an den Standorten Marburg, Gießen, Friedberg, Frankfurt am Main und Nürnberg – professionell die Potenziale von rund 7.000 Wissenschaftlern. »Das bedeutet ganz praktisch, dass wir viele Kontakte in die Hochschulen, zu den Fachbereichen und Wissenschaftlern aufbauen und pflegen, diese mit Kontakten aus der Wirtschaft verknüpfen und Projekte koordinieren«, erklärt Michaela Kirndörfer das Kerngeschäft des Technologietransfer-Unternehmens. Neben dem Transfer von der Hochschule in die Wirtschaft gibt es nun auch einen Transfer in die Hochschule. »Firmen fragen bei uns um Hilfe an bei besonderen technischen Problemen, für die wir Spezialisten an den Hochschulen suchen. Und wir ermöglichen Wissenschaftlern, im geschützten Rahmen der GmbH erste eigene kommerzielle Tätigkeiten auszuprobieren, wenn sie eine interessante Geschäftsidee haben, aber noch keine eigene Firma gründen wollen.«

So sind aus den drei Gesellschafterhochschulen der TransMIT GmbH mehr als 150 TransMIT-Zentren und TransMIT-Projektbereiche entstanden. Sie bieten vielfältige innovative Technologien und Dienstleistungen an, zum Beispiel in den Bereichen Materialwissen-

schaften, Biotechnologie, Chemie, Pharmazie, Medizin, Medizintechnik bis hin zu Kommunikation und Medien, Unternehmensethik und Management sowie Informationstechnik.

Für die Philipps-Universität verwaltet TransMIT über 500 Patentanmeldungen, darunter sind über 100 erteilte Patente. Jährlich vermarktet das Unternehmen rund 20 Erfindungen. Ein erfolgreiches Beispiel ist das verbesserte OP-Abdecktuch, das ein Marburger Mitarbeiter des Universitätsklinikums entwickelt hat. TransMIT unterstützte bei der Abfassung der Erfindungsmeldung, übernahm die Marktanalyse und Patentrecherche, reichte die Patentanmeldung ein und vermittelte schließlich Unternehmen als Partner für die Produktion und den Vertrieb. Die Erfindung wird heute routinemäßig in Kliniken eingesetzt.

Eine erfolgversprechende Erfindung aus der Marburger medizinischen Mikrobiologie ermöglicht den Nachweis der Infektionskrankheit Leishmaniose bei Menschen und Hunden. Mit Unterstützung einer in Mittelhessen ansässigen Firma ist es gelungen, einen routinetauglichen Test herzustellen, sodass die Diagnose anhand eines Blutstropfens gestellt werden kann.

Eine weitere Erfindung »Made in Marburg« ist zum Beispiel eine elektrochemische Mikromesszelle mit sicheren Elektrolyten, die die heutigen brennbaren Batterie-Elektrolyte auf der Basis organischer Lösungsmittel ersetzen könnte. Mögliche Anwendungsbereiche für das neue Batteriekonzept sind die Elektromobilität und die Speicherung regenerativer Energien.

Ein europäisches Patent erhielten Marburger Herzchirurgen für die Erfindung eines Verfahrens zur zuverlässigen Fixierung und Manipulation von Gewebe, besonders bei minimalinvasiven Eingriffen am Herzen, bei denen keine unmittelbare Sichtkontrolle möglich ist. Zuvor konnte die Anheftung nicht sicher erkannt werden. Das neue Instrument minimiert die Gefahr von versehentlichen Verletzungen des Herzmuskels und ermöglicht außerdem den risikolosen Zugang zu tiefer liegendem Gewebe, etwa zum Herzbeutel.

»Durch die kommerziellen Aktivitäten der TransMIT als professionellem Vermittler in die

Industrie wird weltweit auf den Universitätsstandort Marburg und dessen Forschungsergebnisse aufmerksam gemacht. So ergänzen sich Hochschule und Technologiedienstleister schon seit 18 Jahren erfolgreich«, sagt Patentingenieurin Michaela Kirndörfer.

**TransMIT GmbH – die Technologietransfergesellschaft der mittelhessischen Hochschulen**

Gegründet: 1996

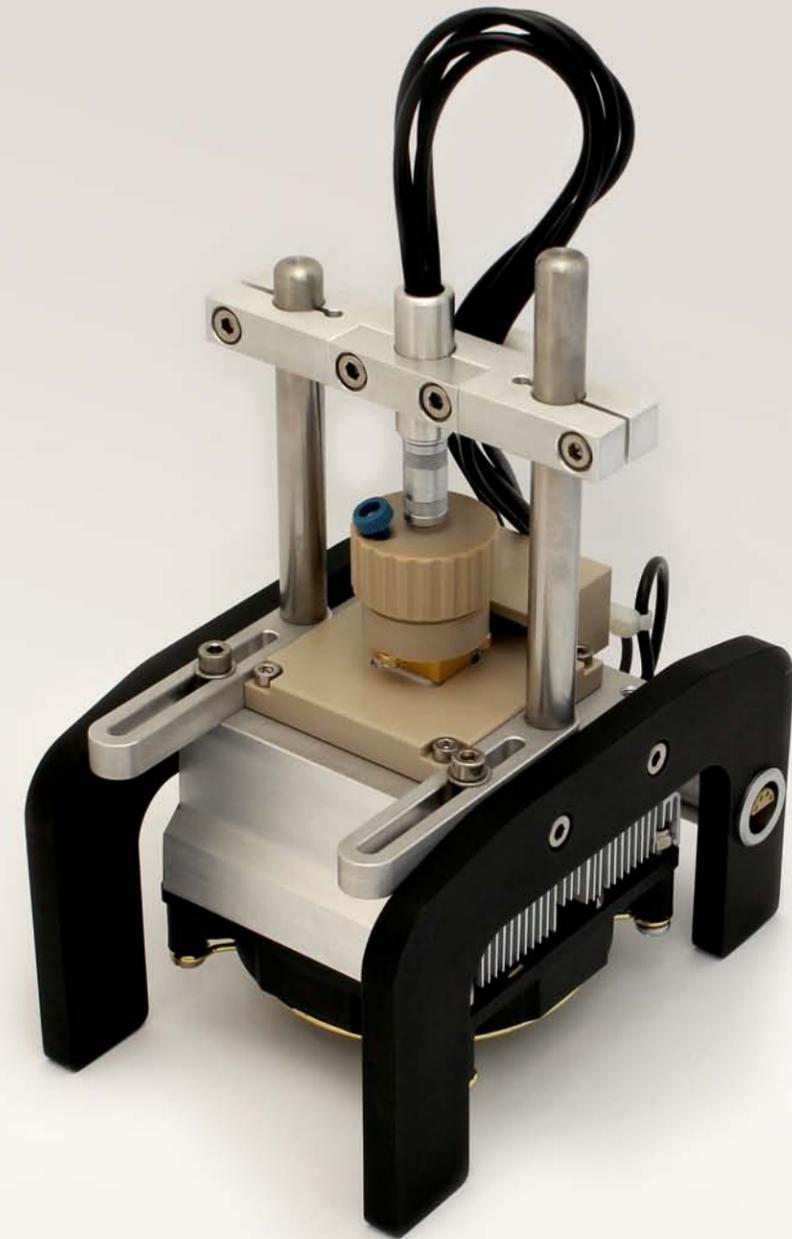
Mitarbeiter: 167 (2013)

Standorte: Frankfurt, Friedberg, Gießen, Marburg, Nürnberg

Betreute Wissenschaftler: ca. 7.000

Geschäftsbereiche: TransMIT-Zentren, Patente, Innovations- und Gründungsberatung, TransMIT-Akademie, IT-Solutions

Weitere Informationen über TransMIT:  
[www.transmit.de](http://www.transmit.de)



Fotos: Philipps-Universität Marburg/AG Roling

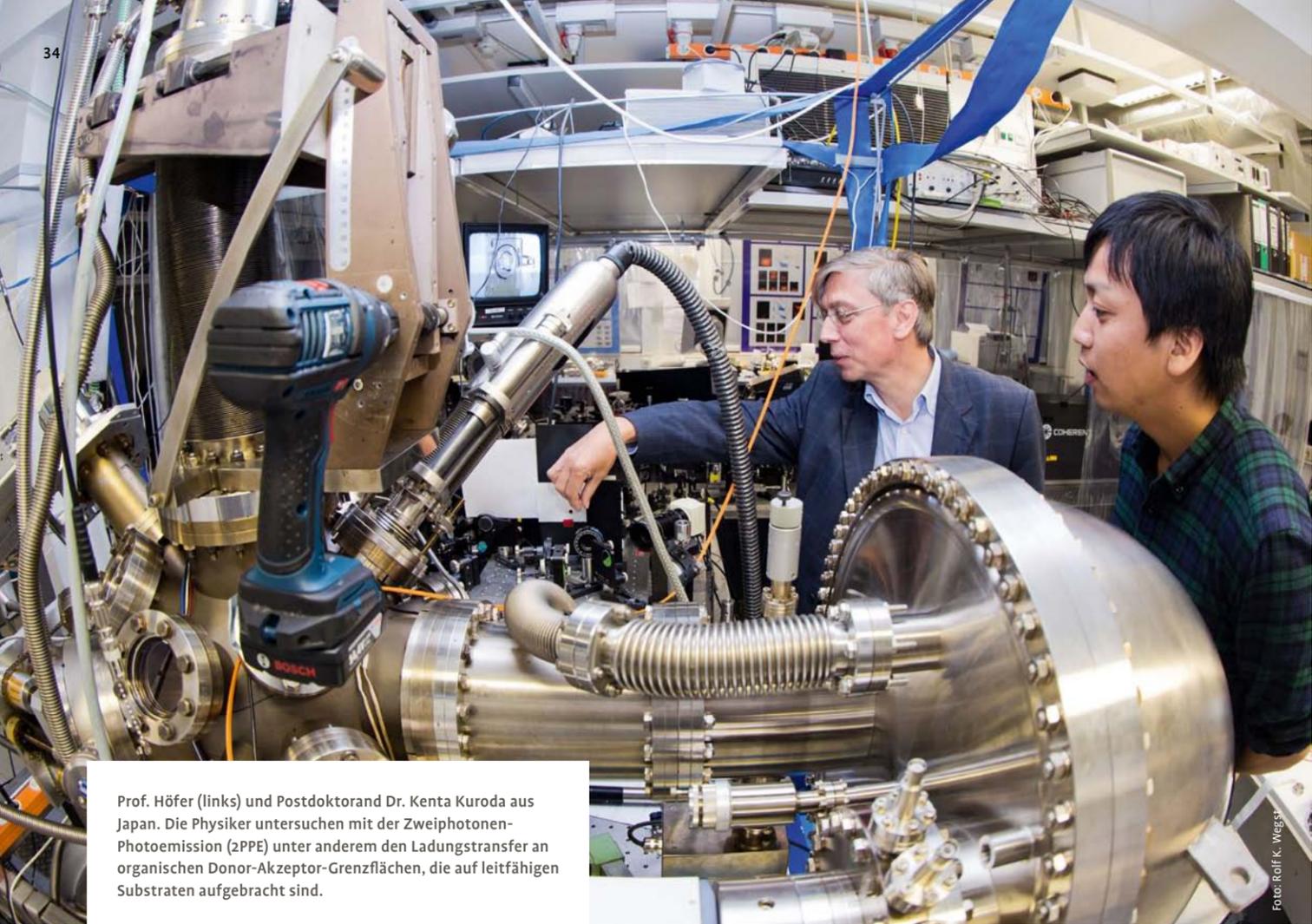
Erfindung »Made in Marburg«: Eine elektrochemische Mikromesszelle kann die bisherigen, brennbaren Batterie-Elektrolyte ersetzen und so zu einer ressourcenschonenderen Energieversorgung beitragen. Das Batteriekonzept eignet sich für den Einsatz im Bereich Elektromobilität und bei der Speicherung von Strom aus erneuerbaren Energien.



## VOM ATOM ZUM FUNKTIONSMATERIAL

Unbegrenzte Möglichkeiten: Physik und Chemie sind sich ergänzende Wissenschaften. Zusammen schaffen sie beispielsweise die Grundlagen für zukünftige Kommunikations- und Energie-Technologien. Marburger Chemiker synthetisieren Moleküle und Materialien mit bestimmten Eigenschaften, die Physiker erforschen sie funktionell. Halbleiterforschung und Optoelektronik sind Gebiete, auf denen die Marburger Naturwissenschaftler international anerkannte Expertise besitzen. An der Philipps-Universität werden Funktionsmaterialien auf der Basis von Halbleitern, Ober- und Grenzflächen in einem Sonderforschungsbereich und einem Graduiertenkolleg erforscht.

Die Chemie ist eine Querschnittswissenschaft, die auch für die Lebenswissenschaften wichtige Impulse gibt. In einem LOEWE-Schwerpunktprogramm suchen Chemiker zusammen mit Pharmazeuten und Biowissenschaftlern nach neuen chemischen Strategien, um biologische Prozesse zu modulieren und zu kontrollieren. In diesem hessischen Forschungsverbund führen Marburger, Gießener und Frankfurter Wissenschaftler ihre Kompetenzen zusammen.



Prof. Höfer (links) und Postdoktorand Dr. Kenta Kuroda aus Japan. Die Physiker untersuchen mit der Zweiphotonen-Photoemission (2PPE) unter anderem den Ladungstransfer an organischen Donor-Akzeptor-Grenzflächen, die auf leitfähigen Substraten aufgebracht sind.

Foto: Rolf K. Wegss

#### STRUKTUREN UND DYNAMIK ZWISCHEN MATERIALIEN STEUERN

## Grenzkontrolle

Viele technische Bauteile basieren darauf, dass an den inneren Grenzflächen zwischen Materialien Ladung transportiert wird. Doch wie genau funktioniert das, und wie lässt sie sich steuern? Dem gehen Marburger Physiker und Chemiker in einem Sonderforschungsbereich auf den Grund. Ihre Erkenntnisse dienen langfristig dazu, Materialien mit neuartigen Funktionen herstellen zu können.

Immer mehr Funktionen auf noch kleinerer Fläche: Halbleiter-Bauelemente, wie sie in Computerchips integriert werden, sind heute soweit miniaturisiert, dass ihre optischen und elektronischen Eigenschaften entscheidend von den inneren Grenzflächen bestimmt werden, oder wie der Physiknobelpreisträger Herbert Kroemer vereinfacht sagt: »Die Grenzfläche ist das Bauelement.«

Die Grundlagenforschung, die vor Jahrzehnten diese Entwicklung angestoßen hat, konnte mit dem rasanten technologischen Fortschritt nicht Schritt halten. Dies schränkt wiederum neue Entwicklungen ein, wie beispielsweise von Hybridmaterialien, die Eigenschaften von Metallen oder anderen anorganischen Materialien und

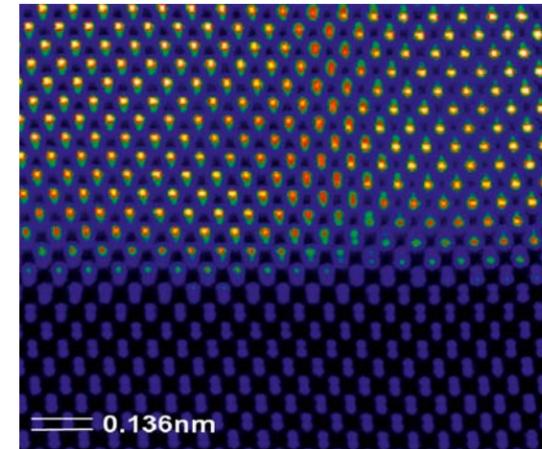
organischen oder Biomaterialien verknüpfen. Beispiele für solche Anwendungen sind Biosensoren oder neuartige Solarzellen.

»Es ist extrem schwierig, die schwachen Spuren der Grenzflächen im Experiment aufzuspüren, da sie oftmals unter mehreren Lagen anderer Materialien vergraben sind«, sagt Ulrich Höfer, Professor für Oberflächenphysik an der Philipps-Universität. Er ist Sprecher des 2013 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) eingerichteten Sonderforschungsbereichs (SFB) »Struktur und Dynamik innerer Grenzflächen«, der es sich zur Aufgabe gemacht hat, diese Wissenslücke zu schließen. Die Erforschung der inneren Grenzflächen gilt als eine der

drängendsten Forschungsfragen in der Festkörperphysik. »Für dieses komplexe Thema bedarf es einer langfristigen Schwerpunktsetzung, um nachhaltige Ergebnisse zu erzielen«, sagt Höfer. An dem auf zwölf Jahre angelegten SFB sind mehr als 60 Wissenschaftler aus der Halbleiterphysik, Oberflächenphysik und -chemie, chemischen Synthese, Strukturanalyse und Laserspektroskopie beteiligt – insgesamt 15 Arbeitsgruppen der Marburger Chemie und Physik sowie ein Gastprojekt vom renommierten Donostia International Physics Center in San Sebastián, Spanien.

Der SFB zur Erforschung der inneren Grenzflächen kommt aus der Sicht von Höfer zum rechten Zeitpunkt: »In den letzten Jahren hat es große Fortschritte bei der Elektronenmikroskopie und der Laserspektroskopie gegeben. Bestimmte Strukturen lassen sich heute überhaupt erst auf atomarer Skala charakterisieren, weil nun die Mikroskopie dafür vorhanden ist. Und mit optischen Methoden können wir elektronische Vorgänge an Grenzflächen tief im Inneren von Festkörpern verfolgen.« Die Untersuchungen konzentrieren sich zunächst nicht auf konkrete Funktionsmaterialien, die meist über viele wenig definierte Grenzflächen verfügen. »Wir befassen uns vielmehr damit, die physikalischen Prozesse an der Grenzfläche grundsätzlich zu verstehen«, erklärt Höfer die Schwerpunktsetzung des SFB. Die Wissenschaftler entwickeln dafür Modellsysteme mit einzelnen, speziell präparierten inneren Grenzflächen, die auf der atomaren Ebene strukturell charakterisiert werden, um ihre optischen und elektronischen Eigenschaften systematisch studieren zu können. Mit dem Wissen, wie chemische Bindungen, elektronische Koppelungen und der Energietransfer zwischen Materialien funktionieren, lassen sich in Zukunft Grenzflächen maßschneidern und Materialien oder Bauelemente mit neuartigen Eigenschaften und Funktionen herstellen.

Grenzflächen zwischen anorganischen Halbleitern können heute schon sehr gut kontrolliert und charakterisiert werden und finden sich so ähnlich auch in kommerziellen Bauelementen. Für die Beschreibung der Grenzflächen zwischen unterschiedlichen organischen Materialien sowie zwischen organischen und anorganischen Halbleitern steht die Modellentwicklung dagegen noch ganz am Anfang. Einen ersten Meilenstein hin zu einem tieferen Verständnis über Organik/Organik-Grenzflächen erreichte die Arbeitsgruppe von Gregor Witte, Marburger Professor für Molekulare Festkörperphysik. Im Experiment wurden kleine Mengen des Fullerenes C<sub>60</sub>, einem aus Kohlenstoffatomen bestehenden Molekül, auf den organischen Halbleiter Pentacen aufgetragen. Da diese Materialien so verschieden sind wie Bälle und Backsteine, mussten die Materialstrukturen an ihren Grenzflächen



Die Grenzfläche zwischen Galliumphosphid und Silizium im Transmissionselektronenmikroskop, Quelle: Prof. Dr. Heinz Jänsch

angepasst werden. Dies gelang den Forschern über die Kontrolle der Temperatur von Pentacen. Je nach Temperatur stellten die Forscher zweidimensionale Flächen, eindimensionale kettenförmige Verbindungen oder punktförmige Ansammlungen von Molekülen (Cluster) her.

Für Elektronen ist Pentacen ein Donator, C<sub>60</sub> wirkt als Elektronenakzeptor – sie können Energie gewinnen, wenn sie an der Grenzfläche vom Pentacen in das C<sub>60</sub> springen. Derartige Grenzflächen zwischen Donator- und Akzeptor-Materialien sind entscheidend für die Funktion organischer Solarzellen, denn dort werden die gebundenen Elektron-Lochpaare, die sogenannten Exzitonen, die das Sonnenlicht erzeugt, getrennt und in elektrischen Strom verwandelt. An der Pentacen/C<sub>60</sub>-Grenzfläche kann so ein grundlegender physikalischer Prozess einer organischen Solarzelle genau studiert werden. »Pentacen/C<sub>60</sub> ist ein vielversprechendes Modellsystem, um den Einfluss der atomaren Struktur der Grenzfläche auf die Dynamik des Ladungstransfers mit spektroskopischen Methoden systematisch zu untersuchen und theoretisch zu beschreiben«, erklärt Höfer. »Dies ist ein zentrales Thema unseres SFB und eine große Herausforderung.«

#### Weitere Informationen:

Sonderforschungsbereich »Struktur und Dynamik innerer Grenzflächen«: [www.uni-marburg.de/sfb1083](http://www.uni-marburg.de/sfb1083)

VON DER GRUNDLAGENFORSCHUNG ZUM INDUSTRIELLEN HERSTELLUNGSVERFAHREN

## Rechnen mit Licht

Marburger Physiker kombinieren Optik und Elektronik, um Halbleiter für eine noch schnellere Datenverarbeitung zu entwickeln. Auf diesem Gebiet stehen sie weltweit an der Spitze der Forschung. Ihr Erfolgsrezept ist die Verzahnung von Theorie und Experiment, von Synthese im Labor und Analyse unter dem Mikroskop, von akademischer Forschung und industrieller Anwendung.

Tag für Tag wachsen die Zahl der Internetanwendungen und der Bedarf, immer größere Datenmengen noch schneller zu übermitteln. Die Hardware muss mit dieser Entwicklung Schritt halten. Die technischen Möglichkeiten von Silizium, dem gängigen Material zur elektronischen Signalübertragung in Mikrochips, sind ausgereizt. »Eine höhere Rechengeschwindigkeit lässt sich erreichen, wenn die Signalübertragung auf optischem Wege erfolgt, denn nichts ist schneller als Licht«, sagt der Marburger Physiker Professor Dr. Wolfgang Stolz. Silizium eignet sich jedoch aufgrund seiner Struktur nicht für die optische Signalübertragung. Marburger Physiker suchten deshalb im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekts nach einer neuen Materialverbindung, die Laserlicht erzeugt und deren Kristallgitter gleichzeitig zu Silizium passt.

Wissenschaftler verschiedener Disziplinen haben bei dieser Aufgabe eng zusammengearbeitet. Der Arbeitsgruppe um Stephan Koch, Professor für theoretische Halbleiterphysik, war es gelungen, durch mathematische Vorausberechnungen über die optischen Eigenschaften von Halbleiterstrukturen die Suche in die richtige Richtung zu lenken, sodass nicht alle denkbaren Materialkombinationen in Experimenten getestet werden mussten. Die Wissenschaftler um Wolfgang Stolz nutzten die Ergebnisse der Modellierung, um im Labor großflächige Schichtstrukturen herzustellen. Auf Siliziumscheiben trugen sie ein komplexes Gemisch auf, das vor allem aus Gallium, Stickstoff, Arsen und Phosphor besteht – Elemente aus der dritten und fünften Hauptgruppe des Periodensystems, daher spricht man von III/V-Halbleitern. Sie stellten fest: Die Kristallgitter passen zu Silizium, die optisch aktiven Schichten weisen keine Fehler auf. Bestätigt wurden sie durch die Analysen der Forschergruppe um Kerstin Volz. Das Spezialgebiet der Professorin ist die Charakterisierung des atomaren Aufbaus von Materialien. Ihre Ergebnisse helfen den Theoretikern, das Modell laufend zu korrigieren, und liefern den Experimentalphysikern Erkenntnisse, um das Kristallwachstum im Labor zu verbessern.

Nachdem die Materialkombination gefunden war, starteten die Forscher ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördertes Projekt mit der Industrie, um die Ergebnisse zur Anwendungsreife zu bringen. Das von Professor Stolz koordinierte Konsortium deckte den gesamten Produktionsprozess ab, von der Lieferung hochreiner Chemikalien bis zum Bau einer Anlage zur Herstellung eines Laser-Prototyps. Ende 2010 wurde die kleine, aus zwei Anlagen bestehende Computerchip-Fabrik auf den Lahnbergen eingeweiht. »Da III/V-Halbleiter die Leitfähigkeit von Silizium verändern, werden die Materialien vor der Herstellung in einer Anlage sauber getrennt und während der Herstellung in der zweiten Anlage integriert«, erläutert Stolz.

Die Forschung geht indes weiter. »Wir sind dabei, das Kristallwachstum bis zur Fehlerfreiheit zu optimieren«, erklärt Kerstin Volz. Wichtig für diese Aufgabe ist das 2012 angeschaffte, für die Marburger Forschung maßgeschneiderte Transmissionselektronenmikroskop (TEM). Volz kann damit Kristallstrukturen atomgenau betrachten und feststellen, ob das Material die gewünschten Eigenschaften hat. »Durch das TEM wissen wir, wie die Materialien aufeinander wachsen«, berichtet die Professorin. »An ihrer Schnittstelle bilden sie pyramidenförmige Strukturen.« Um die Erkenntnisse aus der Strukturanalyse schneller als bisher im Labor umsetzen zu können, hat Volz mit der Entwicklung eines Probenhalters für das TEM begonnen. Damit lässt sich das Kristallwachstum unter dem Mikroskop live beobachten. »Man sieht die Atome laufen und kann direkt eingreifen, zum Beispiel die Temperatur oder das Mischungsverhältnis der Materialien verändern«, erklärt die Physikerin. Für die Forschergruppe um Professor Stolz wäre das ein enormer Fortschritt: »Wir sparen viel Aufwand, wenn wir die einzelnen atomaren Schritte in einem einzigen Experiment aufklären können, statt für jeden dieser Schritte ein eigenes Experiment extern durchführen zu müssen.«

Die Optimierung des Kristallwachstums von III/V-Halbleitermaterial auf Siliziumsubstrat und die Modellierung der zu erzielenden optischen Eigenschaften sind auch in

den kommenden Jahren zentrale Forschungsaufgaben, ebenso die Einbindung des neuen Materials in elektronische Schaltkreise. Zu diesen Themen ist ein neues Projekt in Vorbereitung, bei dem die Marburger mit zwei weiteren hessischen Hochschulen sowie Industriepartnern kooperieren. Auch Nachwuchswissenschaftler in einem von Professorin Volz geleiteten Graduiertenkolleg beteiligen sich an der Forschung. »Die Entwicklung von Funktionsmaterialien ist ein wichtiges Zukunftsthema mit einem großen Potenzial für industrielle Anwendungen«, sagt Volz. So befassen sich die Marburger Forschergruppen nicht nur mit neuartigen Bauelementen für schnellere Computer. Professor Stolz nennt weitere Beispiele für Anwendungen, bei denen die Integration von Optik und Elektronik auf der

Basis von Silizium effizienteren Signaltransport verspricht: »Damit lassen sich unter anderem die dezentrale Stromgewinnung und -verteilung verbessern. Auch Kameras können mithilfe dieser Technologie um ein Vielfaches leistungsfähiger werden.«

### Weitere Informationen:

Wissenschaftliches Zentrum für Materialwissenschaften (WZMW) der Philipps-Universität:  
[www.uni-marburg.de/wzwmw](http://www.uni-marburg.de/wzwmw)



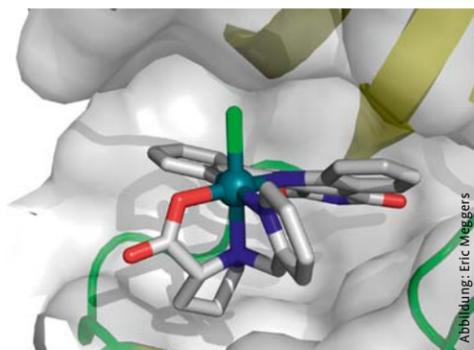
Der Physiker Stefan Ziegler bedient die Herstellungsanlage für einen Laser auf Siliziumbasis

MIT NEUEN CHEMISCHEN STRATEGIEN BIOLOGISCHE PROZESSE MODULIEREN

## Neue Schlüssel schmieden

Warum haben Medikamente Nebenwirkungen? Der Grund ist, dass sie oft nicht nur dort wirken, wo sie sollen. Ein Wirkstoff muss zu einem bestimmten Enzym im Körper passen, wie ein Schlüssel zum Schloss. Da Enzyme komplex und flexibel sind, ist es schwierig, passende Schlüssel zu schmieden. Dieser Aufgabe widmet sich ein hessischer Forschungsverbund unter Marburger Leitung.

Arzneimittel sollen möglichst zielgenau im Körper wirken. Dafür müssen sie wie der Schlüssel in ein Schloss exakt zu den Enzymen im Körper passen, deren Fehlfunktion Krankheiten verursachen. »Die erwünschte Präzision in der Wirkung ist aber wegen der enormen Komplexität des biologischen Systems ein noch weitgehend ungelöstes Problem«, sagt Eric Meggers, Marburger Professor für Chemische Biologie. So kommt es häufig zu Nebenwirkungen. Für die Entwicklung von Wirkstoffen, die jeweils nur an eines der vielen tausend Enzyme im Körper binden, sind neue chemische Strategien gefragt. Dieser Aufgabe widmet sich ein von Meggers geleiteter Forschungsverbund der Philipps-Universität Marburg, der Justus-Liebig-Universität Gießen und der Goethe-Universität Frankfurt.



Ein Metallkomplex gebunden an ein Enzym

An dem 2014 eingerichteten LOEWE-Schwerpunkt »Innovative Synthesechemie für die selektive Modulation biologischer Prozesse« sind 20 Arbeitsgruppen der drei Hochschulen beteiligt. Auf der Suche nach neuen Schlüsseln arbeiten Wissenschaftler der Synthetischen, Pharmazeutischen und Theoretischen Chemie sowie der Strukturanalytik eng zusammen. Am Anfang des Entwicklungsprozesses zum Beispiel für ein neues Medikament steht die chemische Synthese von Molekülen. Die Wissenschaftler im LOEWE-Schwerpunkt nutzen dafür

alle möglichen Verbindungsklassen und Methoden der organischen, anorganischen und nanobasierten Chemie. »Wir experimentieren mit allem, was das Periodensystem zu bieten hat«, sagt Meggers. Die Forscher gehen über den bisherigen Ansatz hinaus, Arzneimittelwirkstoffe ausschließlich aus organischen Molekülen zu entwickeln. Meggers hat nachgewiesen, dass metallorganische Verbindungen Enzyme noch präziser binden können. »Viele Nebenwirkungen von Medikamenten entstehen, weil die Wirkstoffmoleküle üblicherweise recht flexibel sind. Mit Metallen können wir die Flexibilität einschränken und so die Aktivität von Enzymen genauer steuern«, erklärt Meggers. »Der Vorteil ist, dass Metall wie ein Klebstoff strukturbildend wirkt, ohne die Eigenschaften von Verbindungen zu verändern.«

Es wird jedoch noch einige Jahrzehnte dauern, bis aus dieser Grundlagenforschung Wirkstoffe für Arzneimittel resultieren, schätzt Meggers. Das bislang einzige Erfolgsbeispiel für ein metallhaltiges Medikament ist Cisplatin. Das Übergangsmetall bindet an Nukleinsäuren und bremst die Zellteilung in Krebszellen. »Das Metall ist hochwirksam gegen Tumore, aber auch toxisch. Daher bestanden bislang häufig Vorbehalte gegen Metalle in Medikamenten«, sagt Meggers. Er selbst arbeitet vor allem mit Materialien wie Iridium, Rhodium und Ruthenium. Im rationalen Design kombinieren und variieren die Chemiker des Forschungsverbundes Atome an einer metallorganischen Gerüstverbindung, um Moleküle mit bestimmten Eigenschaften herzustellen. Bislang ist weder für organische Wirkstoffe noch für metallhaltige Verbindungen genau erforscht, unter welchen Voraussetzungen sie Enzyme zielgenau ansteuern können. Daher ist eine der zentralen Aufgaben im LOEWE-Schwerpunkt, aufzuklären, wie und in welcher Geschwindigkeit Selektivität funktioniert und welche Wechselwirkungen zwischen synthetisierten Molekülen und Enzymen ablaufen. Diese untersucht eine Forschergruppe um den Marburger Pharmazieprofessor Gerhard Klebe mittels Röntgenstrukturanalyse. Neben



Prof. Dr. Eric Lief Meggers. Foto: Rolf K. Wegs/ProLoewe

### In mehreren Forschungskulturen zu Hause

Eric Meggers, Jahrgang 1968, hat als Wissenschaftler verschiedene Forschungskulturen kennengelernt. Nach dem Studium der Chemie in Bonn promovierte er 1999 in Basel. Für einen Post-Doc-Aufenthalt ging er nach Kalifornien und übernahm 2002 an der Universität von Pennsylvania in Philadelphia eine Assistenzprofessur. 2006 erhielt er einen Ruf nach Marburg. Was hat er mitgenommen aus der Zeit in den USA? »Vor allem den Geist, pragmatisch und auf direktem Weg auf das Ziel zuzugehen und als Team etwas erreichen zu wollen«, erzählt Meggers. »Der Konkurrenzdruck ist allerdings groß, man muss als Forscher schnell ein eigenes Profil entwickeln.« Das ist ihm gelungen, in den USA entwickelte er das Konzept der molekularen Selektivität auf der Basis von metallorganischen Verbindungen. Dessen Weiterentwicklung wird von der hessischen Exzellenzinitiative gefördert. In Deutschland schätzt er die hervorragende Unterstützung durch die Universität und die Deutsche Forschungsgemeinschaft. Meggers ist auch in China als internationaler Experte gefragt. An der Xiamen University hat er seit 2011 zusätzlich eine Professur am College of Chemistry and Chemical Engineering. Ihn beeindruckt der Wille und die Motivation der chinesischen Wissenschaftler: »Sie sind hoch ambitioniert, ihr ganzes Leben ist dem Projekt untergeordnet. So kann man erfolgreich forschen.«

dem Röntgenblick ist die Kernspinresonanzspektroskopie ein weiteres wichtiges Verfahren zur Strukturbestimmung von möglichen Wirkstoffen – eine Expertise, die Frankfurter Chemiker um Professor Dr. Harald Schwalbe in den Forschungsverbund einbringen.

Die Erkenntnis, dass metallorganische Verbindungen Enzyme selektiv ansprechen, ist für die Medikamentenentwicklung in der Pharmaindustrie von hoher Relevanz. Novartis in Cambridge/USA unterstützt die Forschung der Hessen in Hinblick auf ihre industrielle Umsetzbarkeit: In dem Unternehmen hat man die Eigenschaften der Verbindungen unter die Lupe genommen und festgestellt, dass sie sich grundsätzlich für die Entwicklung neuer Wirkstoffe eignen. In Mausexperimenten untersuchten sie deren Wirksamkeit, Verträglichkeit und den Abbauprozess im Organismus. Im nächsten Schritt soll geprüft werden, ob man damit Tumore zum Schrumpfen bringen kann. Das Wistar-Forschungsinstitut in Philadelphia untersucht die Wirkung der Verbindungen zur Therapie von Melanomen.

Zwei der von Marburger Forschern im Vorfeld des LOEWE-Schwerpunkts hergestellten metallorganischen Verbindungen werden inzwischen in den USA kommerziell vertrieben. Biologen nutzen die angebotene Ruthenium-Verbindung als selektive Kinase-Inhibitoren, also als präzise »Hilfsmittel« zur Blockade bestimmter Enzyme.

Das Prinzip von der Schlüssel-Schloss-Erkennung haben die Marburger auch auf die Herstellung von Katalysatoren übertragen, die ebenfalls schon in der Industrie eingesetzt werden. Das sind erste Anwendungen, das Potenzial ist damit längst nicht ausgeschöpft, im Gegenteil: »Da sich mit Metallen neue Strukturen kreieren lassen, können Wissenschaftler in Zukunft viele neuartige Funktionen erfinden«, sagt Meggers über die grundsätzliche Bedeutung des Forschungsgebietes.

#### Fakten zum LOEWE-Schwerpunkt

»Innovative Synthesechemie für die selektive Modulation biologischer Prozesse«

Laufzeit: seit 2014

Ziel: Grundlagenforschung zur Wechselwirkung und exakten Passung von Wirkstoffmolekülen und Enzymen als Basis für Innovationen in der Arzneimittelentwicklung

Partner: Philipps-Universität Marburg, Justus-Liebig-Universität Gießen, Goethe-Universität Frankfurt

Fachrichtungen: Chemie, Biochemie, Pharmazie

Sprecher: Prof. Dr. Eric Meggers, Philipps-Universität Marburg; Prof. Dr. Harald Schwalbe (Stellv.), Goethe-Universität Frankfurt am Main, Prof. Dr. Peter R. Schreiner (Stellv.), Justus-Liebig-Universität Gießen

## AUFBRUCH IN DIE WISSENSCHAFTLICHE SELBSTÄNDIGKEIT

## Generationenvertrag

Neben Forschung und Lehre gehört die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses zu den Kernaufgaben einer Universität – es gibt eine Art Generationenvertrag zwischen erfahrenen Wissenschaftlern und jungen Talenten. Die Philipps-Universität unterstützt jede Phase der wissenschaftlichen Laufbahn und beteiligt sich auch an hessenweiten Nachwuchsprogrammen.

Mit dem Abschluss des Studiums haben angehende Nachwuchswissenschaftler die fachlichen Grundlagen für eine wissenschaftliche Laufbahn erworben. Der Aufbruch in die wissenschaftliche Selbständigkeit ist die Promotion. An der Philipps-Universität gibt es ein breites Spektrum an Promotionsmöglichkeiten – die Individualpromotion, eine strukturierte Promotion in- oder außerhalb von Forschungsprogrammen, das Schreiben von Monografien oder die kumulative Dissertation.

Hilfreich für eine transparente und produktive Promotionsphase ist die Betreuungsvereinbarung. Darin legen Doktoranden und betreuende Professoren ihre wechselseitigen Rechte und Pflichten fest. Sie enthält einen Arbeits- und Zeitplan, beide Seiten verpflichten sich zu regelmäßigem Austausch über den Fortschritt der Promotion. Die konstruktive Zusammenarbeit mit dem Doktorvater oder der Dokormutter ist unentbehrlich für das Gelingen einer Promotion, doch auch die Einbindung in wissenschaftliche Projekte und Netzwerke ist wichtig. Daher fördert die Philipps-Universität »Strukturierte Promotionsprogramme«. Vorteile für die Nachwuchswissenschaftler sind das transparente Verfahren, fachspezifische Weiterbildungen, die Entwicklung von Schlüsselkompetenzen und intensiver Austausch mit anderen Wissenschaftlern, auch international. Die Professoren profitieren ebenfalls von dieser Förderung – die Qualität der Promotionen steigt, die Programme sind in bestehende Forschungsverbünde integriert und sie werden unterstützt durch die Dachorganisation für Nachwuchsförderung an der Philipps-Universität, die Marburg University Research Academy (MARA). Zwölf solcher Programme sind seit 2009 durchgeführt worden. Im Idealfall dienen sie als finanzieller Anschlag und Erprobungsraum für Graduiertenkollegs oder Graduiertenschulen. Ein Erfolg dieses Förderinstruments ist das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft bewilligte Graduiertenkolleg

»Funktionalisierung von Halbleitern«, das bis 2016 zwölf Doktorandenstellen finanziert. Die Nachwuchswissenschaftler befassen sich mit einem zentralen Zukunftsthema im Bereich der Materialwissenschaften, das sie sowohl für eine weitere wissenschaftliche Laufbahn als auch für eine weitere Karriere in der Industrie befähigt.

MARA koordiniert alle Nachwuchsförderangebote und organisiert Vernetzungsplattformen für Doktoranden der Geistes- und Sozialwissenschaften sowie der Natur- und Lebenswissenschaften. Kernstück sind die Weiterbildungen in fachübergreifenden Fähigkeiten. Dazu gehören Projektmanagement, Schreibtrainings, Präsentationstechniken, Strategien der Karriereplanung, Unterstützung bei der Einwerbung von Drittmitteln für ein Forschungsprojekt, Tagungsorganisation, Personalauswahl, der Umgang mit ethischen Fragestellungen in der Forschung und didaktische Kompetenzen für die Lehre. Auch in Fragen der Finanzierung einer Promotion berät MARA und unterstützt Antragstellungen bei Stipendienebern, Forschungsfördereinrichtungen und der EU.

Eine Marburger Besonderheit ist die Weiterbildung für Wissenschaftskommunikation. Der Zweck des Angebots ist, dass Nachwuchswissenschaftler ihr Thema einer breiten Öffentlichkeit und in den Medien anschaulich und interessant darstellen. Dadurch können sie die öffentliche Diskussion über Forschung fördern und inhaltlich mitbestimmen. Eine verständliche Präsentation und ein überzeugendes Kommunikationskonzept kann zudem das entscheidende Quäntchen mehr sein, das zur Annahme eines Förderantrags beiträgt. In Workshops, die zum Teil in Kooperation mit der Initiative »Wissenschaft im Dialog« stattfinden, lernen die Wissenschaftler, wie die Medien »tickern«, welche Themen überhaupt eine Chance auf Veröffentlichung haben, wie man Informationen verständlich aufbereitet, ein Interview führt und Social Media für die Außendarstellung der eigenen Forschung nutzt. Um das Gelernte nachhaltig einzuüben, bietet MARA ein einjähriges Mentoringprogramm »Wissenschaftskommunikation« an mit Einzelbetreuung durch Wissenschaftsjournalisten sowie gemeinsamen Veranstaltungen, darunter der Besuch einer Wissenschaftsredaktion.



Foto: Christian Stein

## NACHWUCHSFÖRDERUNG

Wissenschaftlicher Nachwuchs in einem MARA-Workshop

Auch nach der Promotion brauchen Nachwuchswissenschaftler Unterstützung. Über den Weg zur Professur wird viel diskutiert. Fest steht, dass es kein Patentrezept gibt. Je nach Fachkultur, Mentoren-Umfeld und verfügbarer Ressourcen kann eine Habilitation oder eine Juniorprofessur – mit oder ohne Tenure Track – zum Erfolg führen. Alle Wege sind an der Philipps-Universität möglich und werden zentral unterstützt. Erfahrungsgemäß erweitert ein Auslandsaufenthalt in einem renommierten Forschungsumfeld während der Qualifikationsphase den Horizont und ist in einigen Fachkulturen obligatorisch. MARA bietet mit dem Academic Career and Development Center fachübergreifende Unterstützung für Postdoktoranden, Habilitanden und Juniorprofessuren, so zum Beispiel Weiterbildungen zur Entwicklung und dem Management von Forschungsprojekten, zu Drittmittelanträgen sowie Mentoring und Coaching. Alle promo-

vierten Nachwuchswissenschaftler, die eine akademische Karriere anstreben, können finanzielle Unterstützung vom zentralen Forschungsförderfonds der Philipps-Universität beantragen. Die Forschungsabteilung unterstützt außerdem bei Anträgen für das Heisenberg-Programm der Deutschen Forschungsgemeinschaft und für ERC-Starting Grants der Europäischen Union.

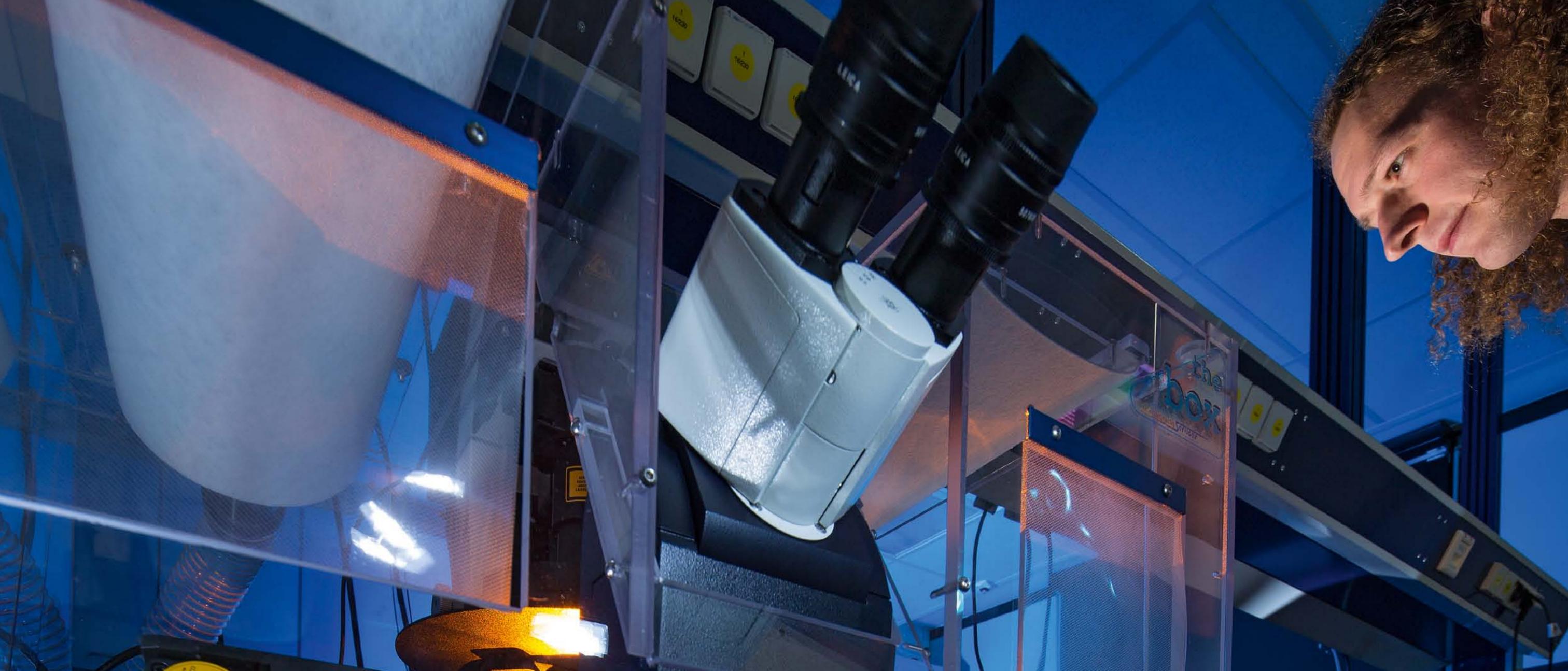
Die Philipps-Universität fördert besonders Frauen dabei, eine wissenschaftliche Laufbahn einzuschlagen. Das beginnt mit dem einjährigen Mentoring-Programm, mit dem Studentinnen kurz vor dem Abschluss und Absolventinnen bei ihrem Entscheidungsprozess begleitet werden. Außerdem beteiligt sich die Universität an hessenweiten Förderprogrammen, darunter das Projekt ProProfessur für hochqualifizierte Wissenschaftlerinnen auf dem Weg zur Professur. Sie werden in einer individuell zugeschnittenen 18-monatigen Förderung in ihrer Karriereplanung

unterstützt und nach neuesten Methoden für Forschungs-, Führungs- und Managementaufgaben in der Wissenschaft vorbereitet.

Dieses Spektrum an Förderinstrumenten ermöglicht Nachwuchswissenschaftlern in Marburg, ihren individuellen Weg zu finden und für die Mühen, die unterwegs warten, gewappnet zu sein. Albert Einstein formulierte es so: »Persönlichkeiten werden nicht durch schöne Reden geformt, sondern durch Arbeit und eigene Leistung.«

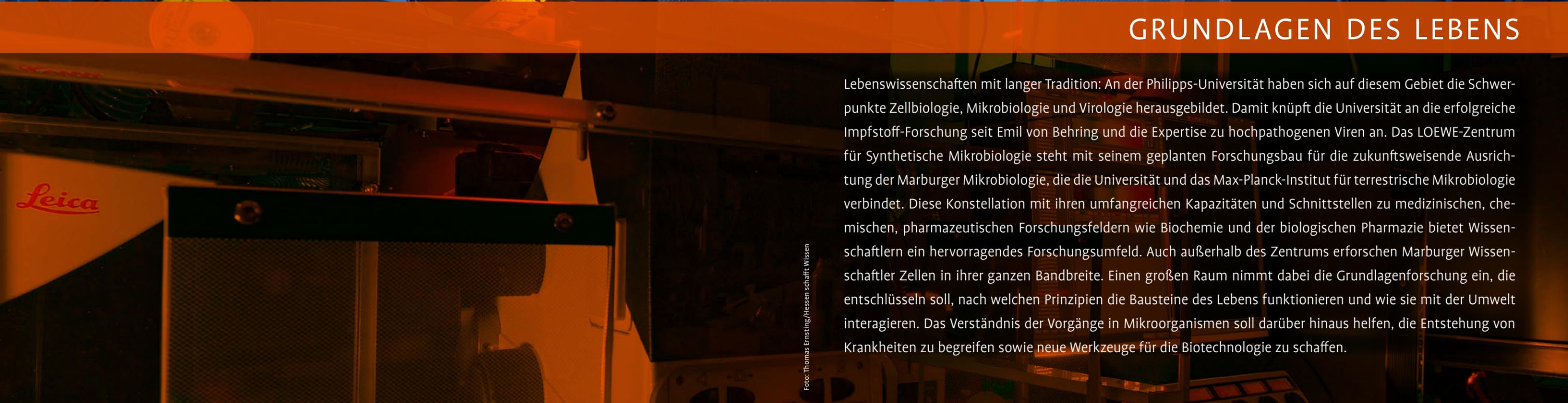
## Weitere Informationen:

Marburg University Research Academy (MARA): [www.uni-marburg.de/mara](http://www.uni-marburg.de/mara)



## GRUNDLAGEN DES LEBENS

Lebenswissenschaften mit langer Tradition: An der Philipps-Universität haben sich auf diesem Gebiet die Schwerpunkte Zellbiologie, Mikrobiologie und Virologie herausgebildet. Damit knüpft die Universität an die erfolgreiche Impfstoff-Forschung seit Emil von Behring und die Expertise zu hochpathogenen Viren an. Das LOEWE-Zentrum für Synthetische Mikrobiologie steht mit seinem geplanten Forschungsbau für die zukunftsweisende Ausrichtung der Marburger Mikrobiologie, die die Universität und das Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie verbindet. Diese Konstellation mit ihren umfangreichen Kapazitäten und Schnittstellen zu medizinischen, chemischen, pharmazeutischen Forschungsfeldern wie Biochemie und der biologischen Pharmazie bietet Wissenschaftlern ein hervorragendes Forschungsumfeld. Auch außerhalb des Zentrums erforschen Marburger Wissenschaftler Zellen in ihrer ganzen Bandbreite. Einen großen Raum nimmt dabei die Grundlagenforschung ein, die entschlüsseln soll, nach welchen Prinzipien die Bausteine des Lebens funktionieren und wie sie mit der Umwelt interagieren. Das Verständnis der Vorgänge in Mikroorganismen soll darüber hinaus helfen, die Entstehung von Krankheiten zu begreifen sowie neue Werkzeuge für die Biotechnologie zu schaffen.



MIKROORGANISMEN PASSEN SICH STÄNDIG IHRER UMWELT AN

## Die eigentlichen Herrscher des Planeten

*In der Biosphäre sind Mikroorganismen allgegenwärtig. So hat jeder Mensch zehnmal mehr Mikroorganismuszellen als menschliche Zellen in sich. In einer unendlich erscheinenden Vielfalt haben sie sich jeden denkbaren Lebensraum erschlossen, auch in extremer Trockenheit oder Kälte können sie existieren. Marburger Wissenschaftler erforschen ihr Erfolgsgeheimnis, die Wandlungsfähigkeit.*

Mikroorganismen überwachen ihre Umwelt permanent, sie sind immer auf der Hut und prüfen zum Beispiel, welche Nahrung verfügbar ist. Sie müssen sich auch auf wechselnde Klimabedingungen einstellen. »Darauf reagieren sie mit Stressantworten, um ihr Überleben zu sichern«, erklärt der Mikrobiologe Professor Dr. Erhard Bremer. Für die Mikroorganismen gibt es nur eine Konstante: Veränderung. Das enorme biochemische und physiologische Potenzial zur zellulären Anpassung an Umweltbedingungen zu verstehen, ist das Ziel des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Sonderforschungsbereichs (SFB 987) »Mikrobielle Diversität in der umweltabhängigen Signalantwort«. Der SFB startete 2012 unter der Leitung des Biochemikers Professor Dr. Mohamed Marahiel und des Bakteriengenetikers Professor Dr. Erhard Bremer und zeichnet sich durch intensive Zusammenarbeit zwischen Forschergruppen der Philipps-Universität und des Max-Planck-Instituts (MPI) für für terrestrische Mikrobiologie aus. »Mikroorganismen haben eine so große biologische Diversität entwickelt, weil sie durch die Anforderungen der Evolution dazu gezwungen wurden«, erläutert Bremer. »Wir erforschen die Mechanismen, wie sie Signale aus der Umwelt interpretieren und beantworten. Dadurch erfahren wir auch etwas über die Funktion von Einzelzellen, Zellverbänden und mikrobiellen Ökosystemen.«

Die Frage nach der Wahrnehmung von Nährstoffen ist einer der Schwerpunkte des SFB. Wenn es um die Nahrung geht, sind Mikroorganismen teils Freund, teils Feind. Sie können Nahrungskonkurrenten sein und biologische Kriegerführung gegeneinander betreiben, zum Beispiel in Form von Toxinen oder Antibiotika. Prinzipiell sind sie jedoch keine Einzelkämpfer. Sie kommunizieren intensiv nach dem Motto »gemeinsam sind wir stark« und bauen zusammen ihr »Haus«, den Biofilm.

Ein wichtiger Lebensraum für Mikroorganismen sind Oberflächen. Doch wie erkennen sie deren Struktur und

wie kommunizieren sie darüber? »Für die Medizin ist dieser Forschungsschwerpunkt interessant, weil die Frage, wie man die Kommunikation der Mikroorganismen stören und Biofilme verhindern kann, für das Thema Arzneimittelresistenz relevant ist«, erklärt Bremer. »Unsere Grundlagenforschung trägt langfristig dazu bei, pathogene Keime besser bekämpfen zu können.«

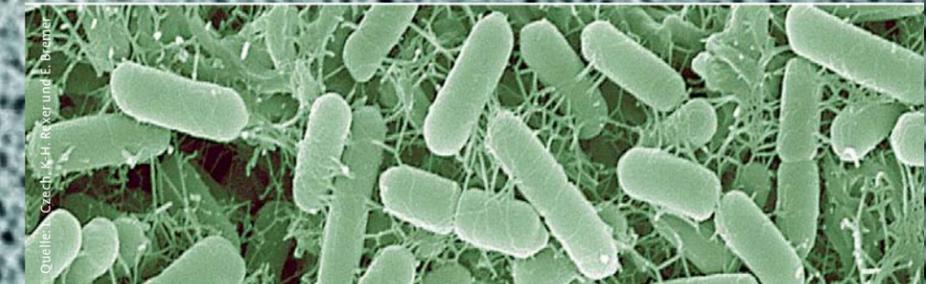
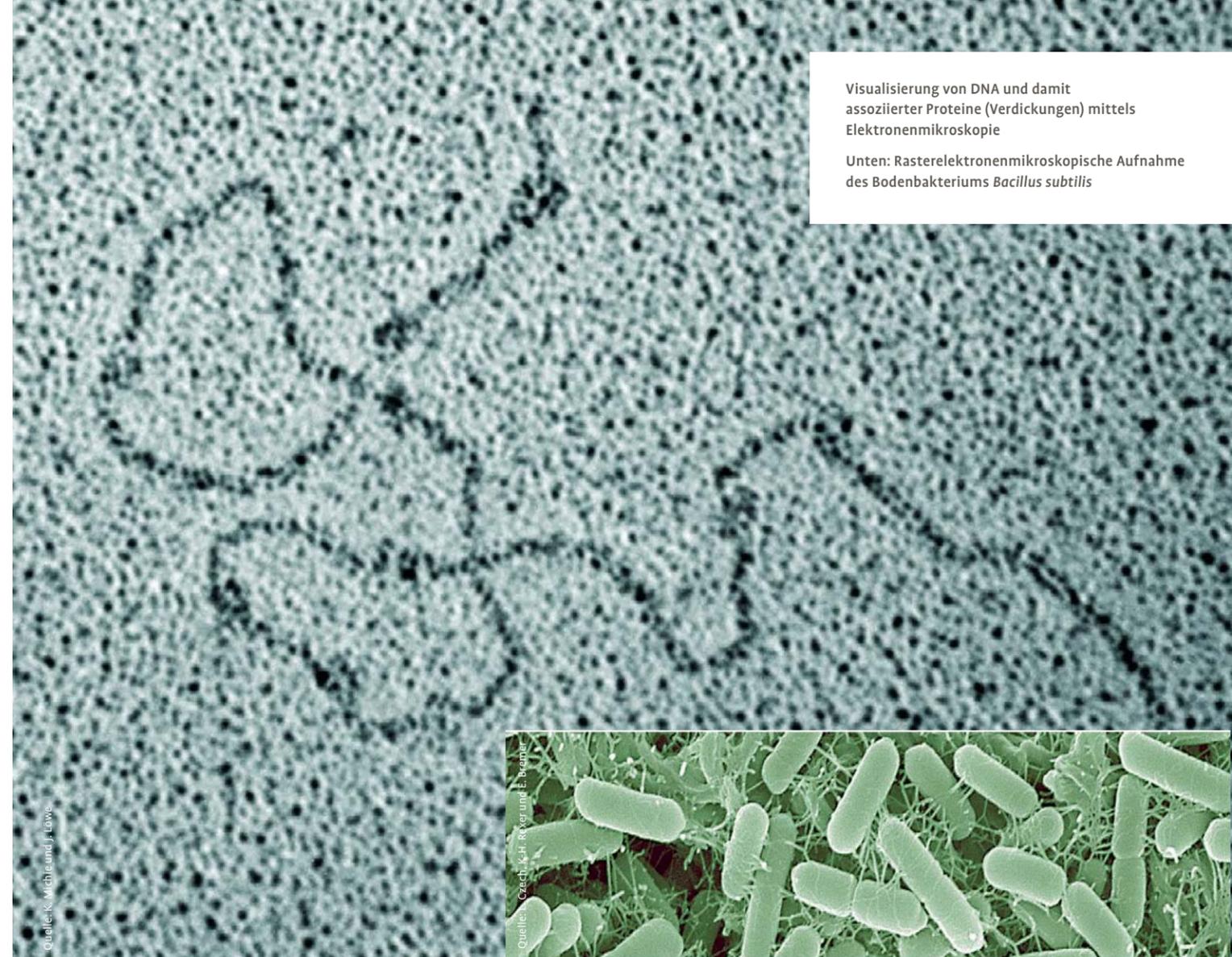
Auch globale Stoffwechselforgänge sind durch Mikroorganismen geprägt, so etwa die Produktion und Absorption des natürlichen Treibhausgases Methan. Diesen Einfluss auf das Ökosystem untersuchen die Marburger Wissenschaftler im dritten Schwerpunkt des SFB. Um zu begreifen, was genau die Mikroorganismen tun, werden sie direkt in ihrer Umwelt erforscht. »Nur etwa ein Prozent der Mikroorganismen lässt sich im Labor züchten und kann dann mit molekularen Techniken analysiert werden. Doch wir können nicht sämtliche Umweltbedingungen simulieren«, verdeutlicht Bremer die besondere Herausforderung des Forschungsgebiets.

In Marburg wird die ganze Bandbreite an Mikroorganismen bearbeitet. Es besteht eine vielfältige Expertise für Bodenmikroorganismen, Pilze und verschiedene extremophile Bakterien, die im trockenen Boden, im Meer oder in fast kochender Schwefelsäure leben. Die Wissenschaftler arbeiten eng mit Genetikern und Zellbiologen zusammen. »Wegen dieser umfangreichen Expertise war es möglich, 1991 das MPI nach Marburg zu holen und 2010 das LOEWE-Zentrum für Synthetische Mikrobiologie hier anzusiedeln«, erklärt Bremer, der ab 1992 zunächst am MPI arbeitete und 1995 eine Professur an der Universität annahm.

In Marburg forschen 40 Arbeitsgruppen zu Mikrobiologiethematen. »Die große Zahl an Wissenschaftlern ermöglicht es, immer wieder neue Fragestellungen in die Forschung zu integrieren«, sagt Bremer über die Vorteile des Standortes. »Das wirkt sich auch positiv auf die Lehre

Visualisierung von DNA und damit assoziierter Proteine (Verdickungen) mittels Elektronenmikroskopie

Unten: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des Bodenbakteriums *Bacillus subtilis*



und die Nachwuchsförderung aus.« Einer der Nachwuchswissenschaftler, die davon profitiert haben, ist Martin Thanbichler, dessen Laufbahn 2007 als Nachwuchsgruppenleiter am MPI begann und der nun Professor am Fachbereich Biologie der Philipps-Universität ist. »Das Mentoring ist hervorragend, gleichzeitig bekam ich früh die Möglichkeit, eigenständig zu forschen«, sagt er rückblickend. Seine Expertise ist die Zellbiologie, unter anderem nutzt er fluoreszierende Proteine als wichtige Werkzeuge, weil sie helfen, die Verteilung von Proteinen in den kleinen Bakterienzellen sichtbar zu machen und deren Funktion zu verstehen. »Die Zellbiologie ist ein zunehmend wichtiges Forschungsgebiet, auch dank neuer mikroskopischer Methoden. Wir planen ein Projekt, in dem wir Proteine im dreidimensionalen Raum untersuchen. Wir wollen verstehen, woher die Zelle weiß, wie sie sich organisieren muss und wie sich Proteine während des Zellwachstums bewegen«, gibt Thanbichler einen Ausblick auf kommende Forschungsaufgaben.

### Weitere Informationen

Sonderforschungsbereich »Mikrobielle Diversität in der umweltabhängigen Signalantwort«: [www.sfb987.de](http://www.sfb987.de)

## Professorin Dr. Regine Kahmann

Jahrgang 1948, Direktorin am Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie (Abteilung Organismische Interaktionen) und Professorin für Genetik an der Philipps-Universität Marburg. Die vielfach ausgezeichnete Wissenschaftlerin ist unter anderem Leibniz-Preisträgerin der Deutschen Forschungsgemeinschaft und Trägerin der Gregor-Mendel-Medaille der Leopoldina für hervorragende Pionierleistungen in der allgemeinen Biologie.

Was hat Sie 2001 bewogen, nach Marburg zu wechseln?

Die attraktive Konstellation von Universität und MPI war ausschlaggebend dafür, dass ich von München an die Lahn gekommen bin. Die Max-Planck-Gesellschaft fördert die Forschung großzügig, die Zusammenarbeit ist sehr vertrauensvoll. Zudem ließ sich mit den Kollegen an der Universität vereinbaren, dass meine Abteilung ein Drittel der universitären Lehre in der Genetik übernimmt. Auch das gefällt mir am Standort Marburg. Mir macht es Freude, jede Studierendengeneration mit ihren Vorstellungen und Motivationen kennenzulernen und Nachwuchswissenschaftler auf ihrem Weg zu beraten und zu begleiten. Außerdem ist Marburg eine sympathische Stadt, in der ich mich zu Hause fühle.

Zu Ihren Forschungsschwerpunkten gehört der Maisbeulenbrandpilz, ein Schädling, der tumorartige Strukturen an überirdischen Teilen der Pflanze verursacht. Inwieweit haben Sie ihn entschlüsselt?

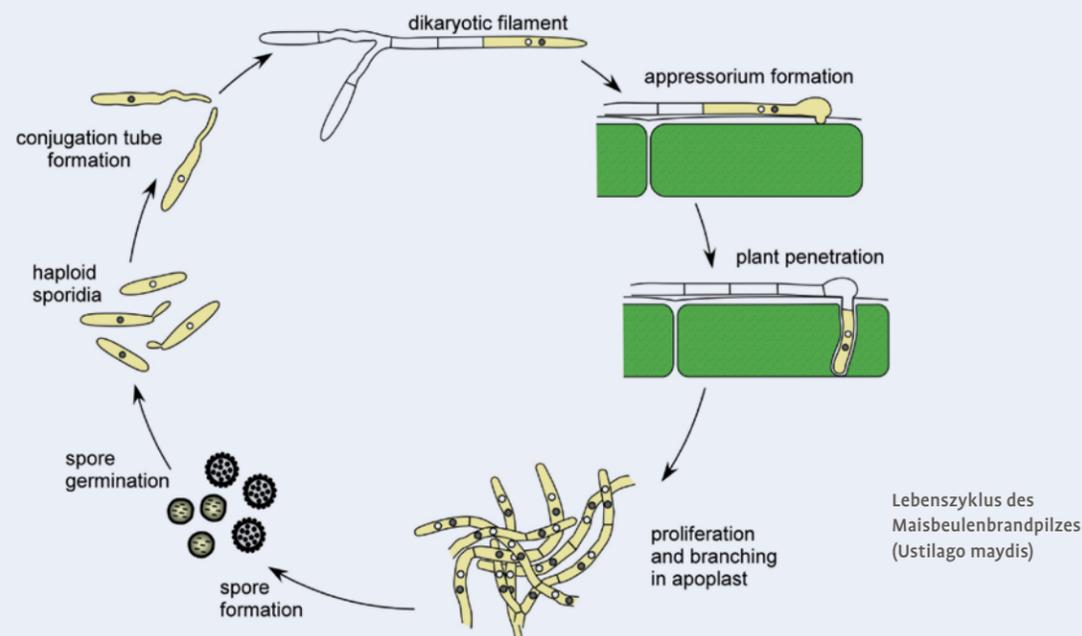
Wir wollen den Mechanismus verstehen, wie der Pilz eine Pflanze infiziert, und wie wir

diese Schritte manipulieren können. Auch die Übertragbarkeit unserer Erkenntnisse auf verwandte pilzliche Schädlinge von Kulturpflanzen, die landwirtschaftlich relevant sind, interessiert uns. Faszinierend ist, dass die Infektion mit dem Maisbeulenbrandpilz nur möglich ist, wenn Pilzzellen, die genetisch verschieden sind, sich zunächst über Lockstoffe erkennen und dann fusionieren. Das passiert normalerweise auf der Blattoberfläche und führt zur Entstehung von Filamenten, die eine Verdickung an der Spitze ausbilden und hierüber dann in die Pflanze eindringen. Was beim Kontakt des Pilzes mit der Oberfläche der Pflanzen passiert, erforschen wir im Rahmen des SFB 987. Wir wissen inzwischen, dass rund 300 Moleküle des Pilzes daran beteiligt sind, die Interaktion mit der Pflanze zu steuern, und diese werden entweder schon nach dem Kontakt mit der Oberfläche oder erst nach dem Eindringen des Pilzes in das Pflanzengewebe gebildet. Diese Moleküle werden vom Pilz abgesondert und sind allesamt neuartig. Bis jetzt haben wir erst für fünf dieser Moleküle entschlüsselt, was sie machen. Die Funktionsaufklärung ist ein langer, mühsa-



Foto: Reinhold Eckstein

mer Weg, der, wenn es gut läuft, rund drei Jahre pro Molekül in Anspruch nimmt. Einige dieser Proteine unterdrücken die Pflanzenabwehr, anderen gelingt es, in die Pflanzenzelle einzudringen und diese umzusteuern. Was wir noch nicht genau wissen ist, welche der 300 Pilzproteine von der Pflanzenzelle aufgenommen werden, wie das erfolgt und was in der Pflanzenzelle genau abläuft. Fest steht, dass der Pilz die Pflanze nicht zerstört, denn er braucht lebende Pflanzenzellen für seine Vermehrung. Andererseits muss er diese so umprogrammieren, dass sie ihn großzügig mit Nährstoffen versorgen, damit er seinen Lebenszyklus vollenden und Sporen bilden kann.



## MIKROBIOLOGIE MIT INGENIEURWISSENSCHAFTLICHEN KONZEPTEN

# Bauen, um zu verstehen, und verstehen, um zu bauen

Selbst mikroskopisch kleine Lebewesen zeichnen sich durch eine ungeheure Komplexität aus. Mit traditioneller Herangehensweise kommt man deshalb nur schwer über ein beschreibend-mechanistisches Verständnis hinaus. Im LOEWE-Zentrum für Synthetische Mikrobiologie möchte man mit Hilfe ingenieurwissenschaftlicher Konzepte wie Modularisierung und Standardisierung Minimalversionen natürlicher Systeme bauen und so die Grundprinzipien ihrer Organisation verstehen.

Dank der enormen methodischen Fortschritte der letzten Jahrzehnte ist die Biologie in immer kleinere Dimensionen vorgedrungen – heute ist es Standard, einzelne Moleküle auf atomarer Ebene sichtbar zu machen und ihre Wechselwirkungen mit anderen Molekülen innerhalb einer Zelle im Detail zu untersuchen. Auf diese Weise konnte bereits eine Vielzahl von biologischen Prozessen beschrieben und erklärt werden. Im LOEWE-Zentrum für Synthetischen Mikrobiologie (SYNMIKRO) möchte man nun in Anlehnung an ingenieurwissenschaftliche

Konzepte wie Modularisierung und Standardisierung allgemeingültige Grundprinzipien beispielsweise für die räumliche Organisation von Zellen oder für deren Regelkreise identifizieren und damit ergründen, was die Funktionen einer mikrobiellen Zelle oder Gemeinschaft »im Innersten« ausmacht: Basierend auf analytischen Erkenntnissen und daraus abgeleiteten Modellen versuchen Marburger Wissenschaftler hier, Minimalversionen komplizierter natürlicher Systeme zu bauen, diese also quasi in ihrer Essenz zu synthetisieren.



Luzernepflanzen in einer Pflanzenzuchtanlage bei SYNMIKRO. Foto: Thomas Ernsing/Hessen schafft Wissen



Automatisierungsplattform für Hochdurchsatzanalysen im LOEWE-Zentrum SYNMIKRO.  
Foto: Thomas Ernsting/Hessen-Schafft Wissen

In der Arbeitsgruppe von Professor Dr. Torsten Waldminghaus etwa wird für das Modellbakterium *Escherichia coli* zusätzlich zum zelleigenen Chromosom ein zweites, synthetisches Chromosom gebaut, um zu verstehen, was ein Chromosom überhaupt ausmacht. Chromosomen tragen nämlich nicht nur die Erbinformationen ihrer Zelle, sondern auch Elemente, die ihren eigenen Erhalt sicherstellen. »Chromosomen müssen vor der Teilung einer Zelle kopiert, auf die Tochterzellen verteilt und gefaltet werden, weil sie um ein Vielfaches länger sind als die Zelle selbst«, erklärt Waldminghaus. Die Systeme, die diese Funktionen erfüllen, bestehen in der Regel aus einem DNA-bindenden Protein und einem entsprechenden Bindemotiv auf der DNA. In einer Kooperation mit Bioinformatikern hat Waldminghaus deshalb einen neuen Algorithmus entwickelt, mit dessen Hilfe solche Motive in der DNA-Sequenz identifiziert werden können. In einem nächsten Schritt sollen nun synthetische Chromosomen mit derselben, aber auch mit anderer Verteilung dieser Motive gebaut und dadurch Zusammenhänge zwischen Verteilung und Funktion identifiziert werden.

Zum einen versprechen sich die Forscher von ihrer Arbeit Erkenntnisse neuer Qualität. Zum anderen wären die synthetischen Chromosomen aber auch wertvolle Werkzeuge sowohl für die Synthetische Biologie selbst als auch für die Biotechnologie, schließlich könnten mit ihnen deutlich größere Mengen an Fremd-DNA in Zellen eingebracht werden als bisher – beispielsweise ganze Stoffwechselwege anstelle einiger weniger Gene. Für Waldminghaus' Arbeit gilt deshalb genau wie für die meisten SYNMIKRO-Projekte nicht nur »bauen, um zu verstehen«, sondern eben auch »verstehen, um zu bauen«. Und bei einigen Projekten wie dem von Professor Dr. Uwe Maier und Dr. Franziska Hempel liegt hier sogar der Schwerpunkt: Die beiden haben aus der Kieselalge *Phaeodactylum tricornutum* eine Art solarbetriebenen Bioreaktor gemacht, mit dem sie unter anderem Bioplastik, Spinnenseide und humane Antikörper gegen das Hepatitis-B-Virus herstellen können. Im Vergleich zu klassischen Produktionssystemen wie Hefe- und Säugerzellen benötigen diese photosynthetischen Mikroalgen für ihr Wachstum nämlich keinen teuren Zucker, sondern lediglich Wasser und Licht.

Insgesamt sind an SYNMIKRO über 30 Arbeitsgruppen aus sieben Fachbereichen der Philipps-Universität und vom Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie beteiligt – nicht zuletzt dank des LOEWE-Programms, der Exzellenzinitiative des Landes Hessen, das das Zentrum seit seiner Gründung im Jahr 2010 mit bisher 43 Millionen Euro gefördert und es so ermöglicht hat, drei Professuren und fünf Nachwuchsgruppen an der Universität und eine vierte Abteilung am Max-Planck-Institut neu zu etablieren. Auch der Wissenschaftsrat hat das Potenzial des Zentrums erkannt und im Frühjahr 2014 den beantragten Neubau, in dem rund 270 bisher auf unterschiedliche Standorte verteilte SYNMIKRO-Mitarbeiter Platz finden sollen, zur Förderung empfohlen. »Die Zusammenführung unter einem Dach wird uns eine noch engere Zusammenarbeit ermöglichen«, betont Professor Dr. Bruno Eckhardt, der Geschäftsführende Direktor des Zentrums. »Und diese Interdisziplinarität ist der Schlüssel zur Umsetzung unserer Vision, einer neuen Qualität von Verstehen.«

#### Weitere Informationen:

LOEWE-Zentrum Synthetische Mikrobiologie (SYNMIKRO):  
[www.synmikro.com](http://www.synmikro.com)



Professor Torsten Waldminghaus erklärt das Design eines synthetischen Chromosoms. Mit deren Hilfe soll unter anderem der funktionelle Zusammenhang zwischen den zwei DNA-Bindeproteinen SeqA und MutH untersucht werden, die beide die Basenabfolge GATC in der DNA erkennen und binden.

Foto: Reinhold Eckstein

### Gesellschaftliche und ethische Dimensionen

Unter den SYNMIKRO-Mitgliedern findet sich neben Biologen, Chemikern, Physikern, Informatikern und Mathematikern ein Theologe: Professor Dr. Friedemann Voigt hat im Austausch mit seinen Kollegen aus den Naturwissenschaften ein Stufenmodell für die ethische Bewertung der synthetisch-biologischen Forschung entwickelt, in das unter anderem einfließt, was der Sinn oder Zweck eines Projekts ist, wie stark es in einen natürlichen Organismus eingreift und inwieweit die Gefahr besteht, dass dadurch auch die Umwelt verändert wird. Bei dem synthetischen Chromosom von Torsten Waldminghaus beispielsweise handelt es sich zwar um ein neu konstruiertes Element – also einen relativ starken Eingriff auf molekularer Ebene; da es jedoch zusätzlich zum natürlichen Chromosom in die Zelle eingeschleust wird, hat es lediglich einen geringen Einfluss auf deren Verhalten – und gar keinen auf die Umwelt, da die Experimente ja »nur« dem Verstehen dienen und die veränderten Zellen nicht freigesetzt werden. Falls das zelleigene Chromosom irgendwann durch ein synthetisches ersetzt und damit stärker in den Organismus als Ganzes eingegriffen werden sollte, müsste man das Projekt einer Neubewertung unterziehen, betont Voigt. Und die hänge dann auch wieder davon ab, zu welchem Zweck dieses Ziel überhaupt verfolgt werde. »Unser Modell soll forschungsspezifische Aspekte, gesellschaftliche Zwecke und konkrete Verantwortungsträger, vom einzelnen Forscher über die beteiligten Institutionen bis hin zur Gesellschaft, zueinander in Beziehung setzen. Dadurch wollen wir zu einer differenzierten Betrachtung dieses neuen Forschungszweiges beitragen«, erklärt der Theologe. »Seine Bedeutung liegt nicht nur in einer möglichen Anwendung, sondern auch im Erkenntnisgewinn, der ein Beitrag zur Bildung und damit zur Humanität ist. Mit der Arbeit der AG Bioethik wollen wir bei SYNMIKRO diesen Zusammenhang aufzeigen und zum kritischen Maß der Bewertung machen.«

WIE ZELLEN HOCHKOMPLEXE FUNKTIONSRÄUME BILDEN

## Lebensfähig durch Spezialisierung und Kommunikation

*Menschen, Tiere und Pflanzen bestehen aus Zellen, die wiederum klar voneinander abgegrenzte Funktionsräume enthalten. Gebildet werden diese Räume durch biologische Membranen. Marburger Wissenschaftler haben erforscht, wie diese spezialisierten Räume von der Zelle gebildet werden, wie die Kommunikation zwischen ihnen läuft und was passiert, wenn die Aufteilung nicht funktioniert oder durch Krankheitserreger gestört wird.*

Zellkern, Mitochondrien, Chloroplasten, endoplasmatisches Retikulum – in biologischen Zellen hat jeder Bestandteil seinen eigenen Raum oder sein »Kompartiment«. Darin werden, wie in einer Firma, unterschiedliche Aufgaben durchgeführt. Die Zuständigkeiten für bestimmte Stoffwechselreaktionen sind zwar klar geregelt, aber erst die enge Kommunikation und Kooperation der Kompartimente machen die Zelle lebensfähig. Fehler oder Störungen durch bakterielle Eindringlinge oder Viren führen zu Krankheiten. Professor Dr. Roland Lill erklärt einige Aspekte der Rollenteilung in dieser Gemeinschaft: »Im endoplasmatischen Retikulum bilden sich unter anderem Antikörper, Insulin und andere Sekretproteine, die Mitochondrien fungieren als Kraftwerke der Zelle, und Lysosomen arbeiten als Recyclinganlage für die Wiederverwertung von verbrauchten Biomolekülen.« Der Zellbiologe ist Sprecher des von der DFG geförderten Marburger Sonderforschungsbereichs (SFB 593), der sich von 2003 bis 2014 mit den Mechanismen der Kompartimentierung in Zellen mit Zellkern (eukaryotische Zellen) befasst hat. »Dies ist ein zentrales Forschungsgebiet in der gegenwärtigen Zellbiologie zusammen mit der Frage,

wie Eukaryoten Metalle, Metabolite, Lipide, Proteine und Nukleinsäuren über biologische Membranen innerhalb der Zelle transportieren«, berichtet Lill.

In den letzten Jahren haben die Marburger Experten aus der Biochemie, molekularen Zellbiologie, Mikrobiologie, Physiologie, Virologie, Pharmakologie und Medizin eine Reihe von Proteinen und Lipiden identifiziert und strukturell charakterisiert, die für den Prozess der Kompartimentierung in eukaryotischen Zellen bedeutsam sind. Die 18 Arbeitsgruppen des SFB aus der Universität und dem Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie haben dafür einen breiten experimentellen Ansatz gewählt. Sie nutzen ein umfangreiches Spektrum an Organismen von der Hefe, pathogenen Pilzen und Parasiten bis hin zu menschlichen Zellkultursystemen und Tiermodellen. Erst seit kurzem verfügbare Methoden zur Entschlüsselung des Erbguts und der Baupläne von Proteinen sowie die ultrahochauflösende Lichtmikroskopie zur Darstellung zellbiologischer Prozesse haben neue Dimensionen der Untersuchung der verschiedenen Prozesse eröffnet. »Sie haben uns zu der Erkenntnis geführt,

dass die Mechanismen des intrazellulären Transports und der Kompartimentierung noch weit komplexer sind als bisher angenommen«, sagt Lill.

Den Forschern geht es nicht nur um das grundlegende Verständnis der zellulären Vorgänge. Sie wollen auch dazu beitragen, die molekulare Basis von Krankheiten besser zu verstehen. Leibniz-Preisträger Lill: »Wir fragen danach, wie Krankheitserreger die Kompartimente für ihr Überleben ausnutzen und was bei genetischen Defekten mit der Kompartimentierung der Zelle passiert. Aus dem Vergleich von gesunden und kranken Zellen schließen wir auf die intrazellulären Mechanismen.«

Die Gruppe um Lill beschäftigt sich mit der Entstehung von Eisen-Schwefel-Proteinen. Diese sind an lebenswichtigen Prozessen der Zelle beteiligt, zum Beispiel an der Zellatmung und Energiegewinnung, am Citratzyklus, an der DNA-Synthese und -Reparatur, an der Herstellung von Ribosomen, an der Eisen-Regulation und verschiedenen Stoffwechselaktivitäten. Die Marburger entdeckten, dass Mitochondrien den für cytosolische Eisen-Schwefel-Proteine notwendigen Schwefelanteil herstellen und ins Cytosol der Zelle transportieren. Die Forscher haben den dafür verantwortlichen Membrantransporter in seiner 3D-Struktur entschlüsselt und zahlreiche Proteine identifiziert, die an der Reifung der

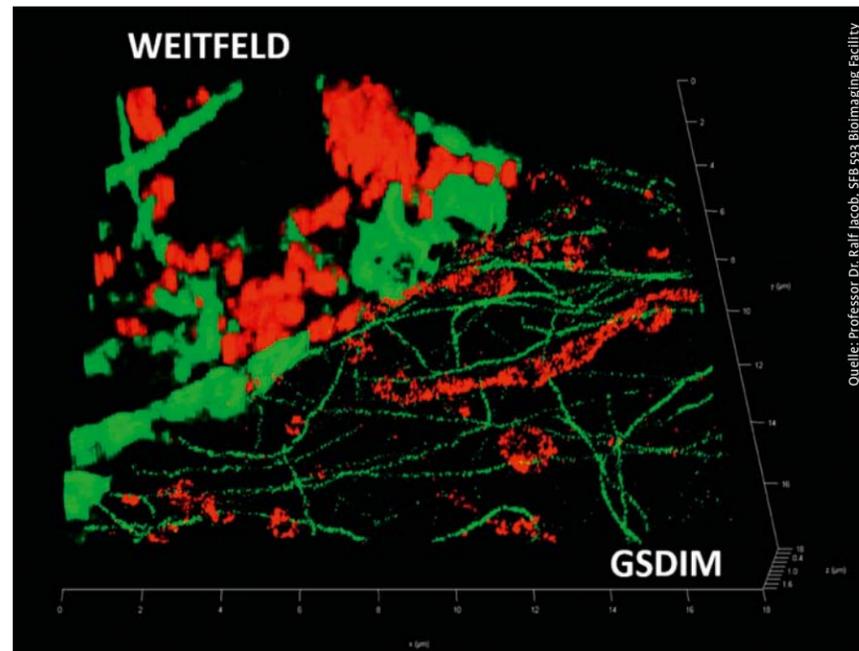
Eisen-Schwefel-Proteine beteiligt sind. Sie fanden auch heraus, dass Defekte in diesem Prozess Krankheiten auslösen, Probleme in der DNA-Synthese und -Reparatur mit sich bringen und damit zu Tumorerkrankungen beitragen könnten.

Die Ursachen von Krankheiten zu erforschen, war auch Thema in anderen Arbeitsgruppen. So fand die Gruppe um Professor Dr. Joachim Hoyer heraus, dass ein Defekt in einem bestimmten Zellkompartiment der Blutfäßinnenwände zu Gefäßschädigungen beiträgt und möglicherweise Bluthochdruck und Nierenerkrankungen verursacht. Die neurobiochemische Gruppe um Professor Dr. Gerhard Schratt hat geklärt, wie bestimmte Erbgut-schnipsel (mikroRNA) vom Zellinneren an Synapsen im Gehirn transportiert werden. Diese Ergebnisse können zum besseren Verständnis von Lern- und Gedächtnisleistungen und deren Störungen beitragen.

Die virologische Arbeitsgruppe von Professor Dr. Hans-Dieter Klenk entdeckte, dass für den Übertritt eines Influenzavirus vom Tier auf den Menschen virale Proteine ausschlaggebend sind, die das Eindringen der Viren in die Zelle und deren Vermehrung im Zellkern vermitteln. Durch eine gezielte Veränderung lässt sich der virale Eindringling abschwächen und so eventuell eine Strategie zur Herstellung eines Impfstoffs entwickeln. Erforscht



Professor Roland Lill mit der Nachwuchswissenschaftlerin Dr. Nicole Rietzschel im Labor



Eine eukaryotische Zelle im normalen (Weitfeld) und höchstauflösenden (GSDIM) Mikroskop. Dargestellt sind Mikrotubuli des Zytoskeletts in Grün und Mitochondrien in Rot mittels einer Fluoreszenzaufnahme.

wurden außerdem Enzyme in Zellen des Atemtraktes, die das Virus »scharf« machen. Erste hemmende Wirkstoffe gegen diese Enzyme hat die Gruppe um Professor Dr. Wolfgang Garten in Zusammenarbeit mit Pharmazeuten entwickelt und in Zellkulturen getestet. Die Arbeitsgruppe um Professor Dr. Stephan Becker hat Mechanismen untersucht, die dem Transport der Bausteine der Marburg- und Ebola-Viren an die Zelloberfläche und dem Virus-Zusammenbau zugrunde liegen.

Mit der Frage, wie Pflanzen von pathogenen Pilzen befallen werden, hat sich die Arbeitsgruppe um Professorin Dr. Regine Kahmann am MPI befasst. Sie konnte zeigen, dass eine Infektion vor allem dann gelingt, wenn der Pilz Proteine in Pflanzenzellen einschleusen kann. Eines dieser Proteine steuert den Metabolismus der Pflanze so um, dass die Verholzung des Gewebes reduziert und stattdessen ein roter Farbstoff gebildet wird. Diese Umsteuerung erlaubt eine stärkere Ausbreitung des Pilzes im pflanzlichen Gewebe und erleichtert den Zugang zu Nährstoffen.

Zellbiologen um Professor Dr. Uwe Maier erforschen im SFB kleine, lichtgetriebene Meeresbewohner, die Kieselalgen. Sie sind mit einigen Parasiten des Men-

schen, zum Beispiel dem Malaria-Erreger Plasmodium, verwandt. Die Grundlagenforschung an Kieselalgen zum intrazellulären Proteintransport zeigt somit nicht nur zelluläre Prozesse in Kieselalgen auf, sondern trägt auch zum molekularen Verständnis pathogener Organismen bei. Parallel hierzu hat die Gruppe um Professor Dr. Klaus Lingelbach untersucht, wie der Malaria-Erreger die menschliche Wirtszelle durch die Einschleusung verschiedener Proteine verändert und so für seine eigenen Zwecke verwendet.

#### Weitere Informationen:

Sonderforschungsbereich »Molekulare Mechanismen der Kompartimentierung in eukaryotischen Zellen und deren Relevanz für die Entstehung von Krankheiten«:  
[www.uni-marburg.de/sfb593](http://www.uni-marburg.de/sfb593)

## Leibniz-Preisträger der Philipps-Universität Marburg

- |   |  |
|---|--|
| 2011  | <b>Prof. Dr. Friederike Pannewick</b><br>Arabistik, Centrum für Nah- und Mittelost-Studien   |
| 2006  | <b>Prof. Dr. Gyburg Uhlmann, geb. Radke</b><br>Klassische Philologie (seit 2007 Freie Universität Berlin)                                  |
| 2004  | <b>Prof. Dr. Thomas Carell</b><br>Organische Chemie (seit 2004 LMU München)  |
| 2003  | <b>Prof. Dr. Roland Lill</b><br>Zellbiologie   |
| 2002  | <b>Prof. Dr. Bruno Eckhardt</b><br>Theoretische Physik   |
| 1997  | <b>Prof. Dr. Paul Knochel</b><br>Metallorganische Chemie (seit 1999 LMU München)   |
| 1997  | <b>Prof. Dr. Stephan W. Koch</b><br>Theoretische Physik  |
| 1996  | <b>Prof. Dr. Reinhard Lührmann</b><br>Physiologische Chemie und Molekularbiologie<br>(seit 1999 Max-Planck-Institut Göttingen)             |
| 1991  | <b>Prof. Dr. Ernst Goebel</b><br>Experimentalphysik<br>(seit 1995 Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig)                      |
| 1991  | <b>Prof. Dr. Rolf Müller</b><br>Molekularbiologie  |
| 1989  | <b>Prof. Dr. Manfred T. Reetz</b><br>Organische Chemie (bis 1991 an der Philipps-Universität<br>und seit 2011 Senior-Professor in Marburg) |
| 1987  | <b>Prof. Dr. Rudolf Thauer</b><br>Biochemische Mikrobiologie   |
| Leibniz-Preisträgerin, die heute der Philipps-Universität angehört: |  |
| 1993  | <b>Prof. Dr. Regine Kahmann</b><br>Molekulargenetik, LMU München, seit 2001 an der Philipps-Universität                                    |



## IM DIENST DES PATIENTEN

Gemeinsam Therapien verbessern: Mit dem Universitätsklinikum Gießen-Marburg als zweitgrößtem Universitätsklinikum Deutschlands ist die Philipps-Universität Teil eines forschungsstarken Medizinstandorts. Zu den Schwerpunkten zählen Tumorbilogie und Onkologie, Immunologie und Entzündungsforschung sowie Infektionsbiologie und Antiinfektiva-Forschung. Die Forschungsbereiche überlappen sich und arbeiten eng zusammen, um Ursachen und Zusammenhänge bei der Entstehung von Tumorerkrankungen zu ergründen. Auch Grundlagenforschung (Zentrum für Tumor und Immunbiologie, Biomedizinisches Forschungszentrum) und patientennahe Forschung (Carreras Leukämie Centrum, Anneliese Pohl Comprehensive Cancer Center Marburg) wachsen zusammen. Sie alle vereint das Ziel, Therapieansätze zu verbessern. Eine starke Ergänzung wird künftig das Partikeltherapiezentrum sein, in dem Therapiemöglichkeiten für bislang schwer oder gar nicht behandelbare Tumore angeboten werden. Die Antiinfektiva-Forschung ist auf Virologie und Impfstoffe fokussiert. Das Marburger Hochsicherheitslabor (BSL4) bietet die dafür notwendige Infrastruktur. Bei der Grippeimpfstoffentwicklung arbeitet die Universität intensiv mit dem in Marburg ansässigen Arzneimittelhersteller Novartis zusammen.



Im Hochsicherheitslabor (BSL4). Foto: Anna Schroll/Hessen schafft Wissen

ERFORSCHUNG HOCHPATHOGENER VIREN

## Im Ernstfall muss es schnell gehen

*Ebola, Lassafieber oder Vogelgrippe – im Marburger Hochsicherheitslabor erforschen Wissenschaftler die gefährlichsten Krankheitserreger, die der Mensch kennt. Noch weiß man nicht genau, warum manche Viren so bedrohlich sind. Im Kampf gegen verschiedene Viren arbeiten die Virologen mit Behörden und Arzneimittelherstellern daran, die Entwicklungszeiten für Impfstoffe zu verkürzen.*

Im Sommer 1967 brach in Marburg eine mysteriöse Krankheit aus. Mehrere Mitarbeiter der damaligen Behring-Werke klagten zunächst über Grippe-symptome. Bald erlitten sie innere Blutungen, ein Viertel starb innerhalb weniger Tage an hämorrhagischem Fieber. Der Virologe Werner Slenczka hat den bis dahin unbekanntesten Erreger, den Marburg-Virus, nach einigen Monaten gemeinsam mit Kollegen identifiziert. Alle Betroffenen hatten im Labor mit Grünen Meerkatzen gearbeitet, einer Affenart aus Afrika, die damals zur Herstellung eines Impfstoffs gegen Kinderlähmung genutzt wurde. Rund 40 Jahre später fand man heraus, dass der Nilflughund, eine Fledermausart, das mutmaßliche Wirtstier ist. Als der Virenforscher Professor Dr. Hans-Dieter Klenk 1985

an die Lahn kam, setzte er die Forschung zum Marburg-Virus fort und gründete das erste Hochsicherheitslabor an der Philipps-Universität.

Das Marburg-Virus und der damit eng verwandte Ebola-Erreger gehören zu den Filoviren, die sich durch ihre fadenartige Struktur auszeichnen. Über die hochpathogenen Viren forscht heute Professor Dr. Stephan Becker. Der Direktor des Instituts für Virologie am Fachbereich Medizin hat als Nachwuchswissenschaftler mit Slenczka und Klenk zusammengearbeitet und ist in deren Fußstapfen getreten. Als Bund und Land beschlossen, in ein neues Labor auf dem naturwissenschaftlichen Campus Lahnberge zu investieren, war Becker maßgeb-

lich an der Planung beteiligt. Das Ende 2007 eingeweihte Hochsicherheitslabor der Stufe 4 befindet sich in der Mitte eines fünfstöckigen Gebäudes. Die Gebäudehülle besteht aus Edelstahl und ist mit Teflon abgedichtet. »Wir haben eine ausgefeilte Leittechnik und Belüftung. Abfälle werden chemisch inaktiviert, bevor sie das Labor verlassen. Unterdruck verhindert, dass Luft nach außen dringt. Sämtliche Geräte und Räume werden rund um die Uhr überwacht«, skizziert Becker die Sicherheitstechnik. »Dennoch ist es ein überschaubares Labor.« 16 Wissenschaftler haben eine Zugangsberechtigung. Bevor sie ihre Arbeit beginnen, müssen sie zunächst die belüfteten Vollschutzanzüge anlegen und drei Schleusen passieren. Das Gebäude – ein roter Kubus, auf dem Marburg-Viren abgebildet sind – steht gleich neben dem Institut für Virologie und fällt schon von weitem auf. »Wir schotten das Labor nicht ab. Transparenz ist wichtig, um Ängste zu nehmen«, sagt Becker. »Wir machen regelmäßig Notfallübungen mit der Feuerwehr, mit Notärzten und der Polizei und informieren die Medien.«

Die Marburger Virologen nutzen das Labor, um Erreger zu identifizieren und virusdiagnostische Untersuchungen durchzuführen. Das Institut arbeitet eng mit dem Behandlungszentrum für hochpathogene Viruserkrankungen in Frankfurt zusammen und ist außerdem Konsiliarlabor der Bundesrepublik für Filoviren. Da es besonders für diese Viren noch kein Gegenmittel gibt, nimmt die Grundlagenforschung einen breiten Raum ein. Die neun Forscherteams am Institut untersuchen, warum die Viren so pathogen sind, wie die Erreger das zelluläre Abwehrsystem lahmlegen, ihr Genom vervielfältigen, sich in der Zelle bewegen und sie für ihre Zwecke benutzen. 2013 haben Becker und sein Team den Transportweg des Marburg-Virus nachgewiesen. Dieses Virus nutzt das für Stabilität, Bewegung und Transport zuständige Zytoskelett, um sich wie über eine Schiene durch die Zelle zu hangeln. Wissenschaftler um Professor Dr. Friedemann Weber haben zudem herausgefunden, dass Zellen das Virus schon beim Eintritt erkennen und bestimmte Enzyme (Helikasen) sofort mit der Abwehr der Infektion beginnen. Aus den Erkenntnissen können sich Ansatzpunkte für neue Impfstoffe ergeben.

Als 2009 die Schweinegrippe aufkam, nutzten die Marburger Forscher ihre Expertise im Umgang mit Grippeviren, um zusammen mit dem Marburger Arzneimittelhersteller Novartis einen neuen Impfstoff zu entwickeln. Sechs Wochen vergingen bis zur Fertigstellung des Impfstoffs. Das ist sehr schnell, wenn man bedenkt, wie lange normalerweise die Zulassung eines Medikaments dauert. Doch im Falle einer Pandemie kann es nicht schnell genug gehen, gleichzeitig muss die Sicherheit des Impfstoffs gewährleistet sein. Um die Abläufe zwischen Forschern,

Behörden und Industrie im Falle einer Pandemie weiter zu beschleunigen, sind die Marburger Virologen in das Deutsche Zentrum für Infektionsforschung eingebunden, wo sie vor allem mit der Universität Gießen und dem Paul-Ehrlich-Institut in Langen zusammenarbeiten. Ein Baustein in diesem System ist auch die Kooperation der Marburger mit Novartis. Das Pharmaunternehmen liefert den Wissenschaftlern Zellkulturen für die Forschung und beteiligt sich an den Betriebskosten des Hochsicherheitslabors. »Wir stehen dafür als Partner und Berater bereit, damit Impfstoffe möglichst schnell eingesetzt werden können«, sagt Becker. Die vertrauensvolle Zusammenarbeit mit Novartis kam auch 2013 beim Ausbruch der Vogelgrippe in China zum Tragen. Nachdem die Gensequenz des Virus bekannt war, ließ Novartis den Erreger synthetisieren und stellte ihn in Zellkulturen in großen Mengen her. »Das Virus muss heute nicht mehr physisch verschickt und in Hühnereiern vermehrt werden. Wir haben mit Novartis und weiteren Wissenschaftlern eine Methode entwickelt, bei der wir lediglich genetisches Datenmaterial des Virus benötigen, um daraus Grippe-saatvirus herzustellen. Das verkürzt die Zeit bis zur Impfstoffproduktion«, sagt Becker.

Die Vogelgrippe oder Erreger wie SARS stellen die Virologen vor besondere Herausforderungen. Sie gehören zu den sogenannten RNA-Viren, die ständig neue Varianten hervorbringen, sich rasch vermehren und anpassen. Einige der Erreger rufen Blutungen, Fieber oder schwere Lungenerkrankungen hervor. Marburger und Gießener Wissenschaftler erforschen die RNA-Virenfamilie seit 2013 in einem von der DFG geförderten Sonderforschungsbereich. »Die Zusammenarbeit mit Gießen hat Tradition, seitdem Professor Klenk von dort nach Marburg kam. Wir bringen die Expertise für hochpathogene Viren in das Projekt ein, Gießen hat eine hohe Kompetenz bei Influenza- und Corona-Viren. Unter anderem führen wir gemeinsam ein klinisches Projekt im Bereich der Lungenforschung durch«, berichtet Becker über das neue Forschungsprojekt.

Weitere Informationen:  
Institut für Virologie an der Philipps-Universität Marburg:  
[www.uni-marburg.de/fb20/virologie](http://www.uni-marburg.de/fb20/virologie)  
Sonderforschungsbereich »RNA-Viren: Metabolismus viraler RNA, Immunantwort der Wirtszellen und virale Pathogenese«: [www.uni-marburg.de/sfb1021](http://www.uni-marburg.de/sfb1021)

TUMOR-, IMMUN- UND INFektionsFORSCHUNG WACHSEN ZUSAMMEN

## Wenn sich Zellen irren

Im menschlichen Körper finden laufend Zellmutationen statt. Lassen sie sich nicht durch zelleigene Reparaturmechanismen beheben, wird die betroffene Zelle im besten Falle durch das Immunsystem eliminiert. Gelingt ihm das nicht, können Tumorerkrankungen entstehen. Auch chronische Entzündungen führen oftmals zu Krebs. Marburger Mediziner erforschen, wie Tumorbildung, Immunsystem und Entzündungen zusammenhängen und suchen nach besseren Therapiemöglichkeiten.

»Eine zentrale Aufgabe der Medizinforschung ist es, Therapien zu verändern, damit es den Patienten besser geht«, sagt Professor Dr. Andreas Neubauer. Dafür sind aus Sicht des Onkologen Ausdauer, Hartnäckigkeit und Leidenschaft erforderlich: »Viele herausragende Entdeckungen, die zu besseren Therapien führen, werden oft zufällig gemacht, nachdem unzählige Experimente gescheitert sind.« Eine dieser Zufallsentdeckungen war in den 1960er Jahren der Wirkstoff Cisplatin, der heute in vielen Chemotherapien enthalten ist. Mit dieser Substanz können zum Beispiel 95 Prozent aller Fälle von Hodenkrebs vollständig geheilt werden.

Neubauer forscht seit 15 Jahren in Marburg und ist Direktor der Klinik für Hämatologie, Onkologie und Immunologie am Universitätsklinikum Marburg-Gießen. Ihm sind solche Zufallsentdeckungen ebenfalls gelungen. Er hat in enger Zusammenarbeit mit Pathologen und Gastroenterologen herausgefunden, dass sich Magenlymphome, eine besondere Form des Magenkrebses, mit Antibiotika behandeln lassen. Die Ergebnisse einer abschließenden klinischen Studie wurden in 2012 publiziert. Die Antibiotikatherapie ist heute Standard, 90 Prozent der Patienten sprechen darauf an, 80 Prozent sind dauerhaft kreisfrei. Zu einer weiteren zufälligen Entdeckung kam es bei der Behandlung eines Leukämiepatienten, der nach einer Knochenmarktransplantation einen Rückfall erlitt. Neubauer entdeckte, dass Sorafenib, ein Medikament zur Behandlung von Nieren- und Leberkrebs, in diesem Fall hilft – der Patient war innerhalb weniger Tage tumorfrei. Das Medikament wird inzwischen im Rahmen einer aus Marburg geleiteten internationalen Studie nach Stammzellentransplantationen gegeben. Bei einer akuten myeloischen Leukämie nutzt man das Medikament ebenfalls. »Der Körper entwickelt jedoch schnell eine Resistenz. Es hilft daher nur kurzfristig, danach muss schnell eine Transplantation erfolgen«, berichtet Neubauer.

Marburger Forscher haben auch in anderen Bereichen der Krebsforschung Verbesserungen erzielt, so etwa bei der Behandlung der chronischen myeloischen Leukämie. Seit

zehn Jahren wird die Erkrankung beherrscht, indem man den enzymhemmenden Wirkstoff Imatinib als Dauermedikation in Tablettenform gibt. So können Patienten 30 Jahre ohne Knochenmarktransplantation überleben. Professor Dr. Andreas Burchert hat die Therapie dadurch verbessert, dass er das Medikament mit Interferon, einem körpereigenen Molekül zur Aktivierung der Immunabwehr, kombinierte. »Die Tumorzellen erkennen sich selbst als Eindringlinge und begehen praktisch Selbstmord«, erklärt Neubauer den Nutzen der Entdeckung seines Kollegen.

Neubauers größtes Ziel ist es, »dass wir Krebs irgendwann wie eine chronische Krankheit behandeln können, ähnlich wie bei Aids«. Doch bis dahin ist es noch ein weiter Weg. Eine der ungelösten, zentralen Fragen ist, wie es Tumorzellen gelingt, dem Immunsystem zu entkommen und es so zu modulieren, dass es die Tumorzellen unterstützt statt sie zu bekämpfen. »Wir wollen verstehen, wie das abläuft, und das Wissen für die Weiterentwicklung von Immuntherapien nutzen«, erklärt Professor Dr. Rolf Müller. Der Experte für molekulare Tumorbiologie arbeitet eng mit Neubauer zusammen. »Für die Behandlung von Melanomen gibt es bereits effiziente Immuntherapien, doch leider sprechen nicht alle Patienten an, und bei einem Teil der Patienten kommt der Tumor nach kurzer Zeit auch wieder«, erläutert Müller den Bedarf an verbesserten Behandlungsmethoden. Zu seinen Themen gehört die Suche nach Wirkstoffen, die die Interaktion von Tumor- und Immunzellen stören. Dazu arbeitet er unter anderem mit der Klinik für Gynäkologie zusammen. »Eine der tödlichsten Krebsformen bei Frauen ist Eierstockkrebs. Die Flüssigkeit im Bauchraum enthält große Mengen an Tumor- und Immunzellen. Wir haben Technologien entwickelt, um diese Zellen molekularbiologisch zu analysieren«, berichtet Müller über seine Forschung.

Neue Therapiekonzepte versprechen sich die Marburger Forscher durch die Zusammenführung von Tumor-, Immun- und Infektionsbiologie sowie von Grundlagenforschung und klinischer Forschung. Es gilt als gesichert,



Professor Andreas Burchert, Oberärztin Dr. Kristina Sohlbach und Professor Andreas Neubauer diskutieren über die Therapie für einen Krebspatienten

Foto: Rolf K. Wegst

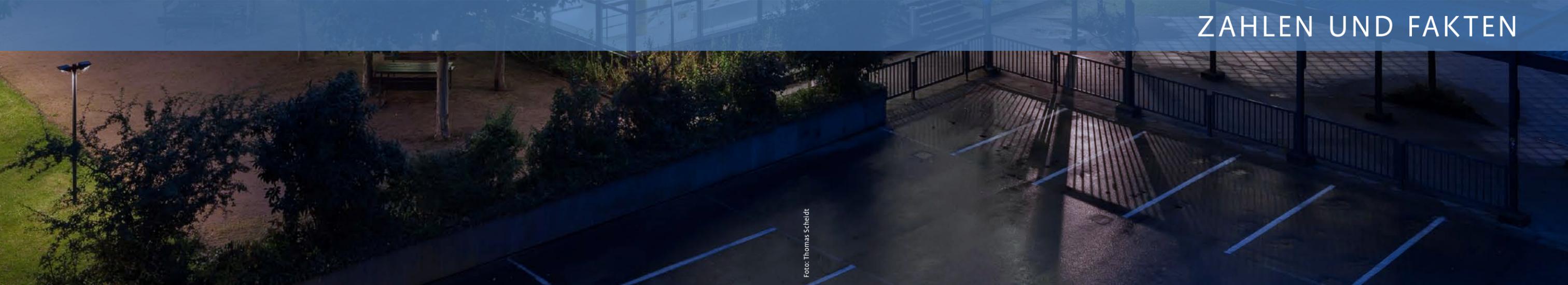
dass Mikroorganismen wie etwa Viren und Bakterien an der Entstehung einzelner Krebserkrankungen beteiligt sind, auch chronische Entzündungen spielen eine herausragende Rolle, zum Beispiel bei Tumoren im Magen, in der Speiseröhre, in der Bauchspeicheldrüse und in der Lunge. Entzündungen sind auch oft der Grund für Resistenzen gegen Chemo- und Strahlentherapie. »Diese klinischen Beobachtungen sind alt, doch wir wissen noch nicht, warum dies so ist. Die Erforschung des Zusammenhangs von Krebs, Entzündungen und Mikroorganismen ist daher weltweit ins Zentrum der biomedizinischen Forschung gerückt«, sagt Müller. In Marburg forschen die Mediziner seit 2008 an diesen Zusammenhängen. Den ersten Anstoß gab der LOEWE-Schwerpunkt »Tumor und Entzündung«. Der nächste Meilenstein ist der neue Forschungsbau des Zentrums für Tumor- und Immunbiologie (ZTI), der 2010 vom Wissenschaftsrat empfohlen und mit Mitteln des Bundes und des Landes Hessen 2014 direkt neben dem Biomedizinischen Zentrum fertiggestellt wurde. »Elf Arbeitsgruppen aus verschiedenen Richtungen der Tumorbiologie, Immunbiologie und molekularen Zellbiologie erhalten hier eine gemeinsame Infrastruktur für ihre Forschung. Auch die medizinische Chemie, die Genomik sowie spezialisierte Einheiten für Mikroskopie und bildgebende Verfahren arbeiten künftig unter dem Dach des ZTI«, erläutert Gründungsdirektor Müller.

Neubauer und sein Forscherteam sind 2014 in das ZTI eingezogen. Gemeinsam mit Müller und anderen Arbeitsgruppen plant er gerade einen Forschungsverbund zu der Frage, wie sich Resistenzen in Tumortherapien durchbrechen lassen. Sie betrachten zum einen die Tumorzelle selbst, um zu verstehen, welche Mechanismen und genetische Veränderungen zu Resistenzen beitragen. Zum anderen untersuchen sie deren Mikroumgebung. Zum Beispiel sind leukämische Stammzellen in Bindegewebe eingebunden, das auch die Tumorzellen unterstützt. Die Forscher suchen nach Wegen, um diese Interaktion zu unterbrechen, damit der Tumor wieder auf eine Therapie anspricht. Die Frage, wie man durch die Aktivierung des Immunsystems Tumorzellen bekämpfen kann, steckt noch in den Anfängen. »Für dieses Forschungsfeld ist es ganz besonders wichtig, dass wir die Marburger Tumor- und Immunforschung im ZTI zusammenführen«, sind Neubauer und Müller überzeugt.

Weitere Informationen:  
Zentrum für Tumor- und Immunbiologie (ZTI):  
[www.uni-marburg.de/aktuelles/bau/campuslahnberge/zti/zti](http://www.uni-marburg.de/aktuelles/bau/campuslahnberge/zti/zti)  
Institut für Molekularbiologie und Tumorforschung:  
[www.imt.uni-marburg.de](http://www.imt.uni-marburg.de)



## ZAHLEN UND FAKTEN



## Personal

### PROFESSUREN

FACHGEBIET	2010	2011	2012	2013
Rechts-, Wirtschafts-, und Sozialwissenschaften	56	55	52	52
Geisteswissenschaften	84	83	84	90
Naturwissenschaften	108	109	110	112
Medizin	81	83	83	81
<b>Insgesamt</b>	<b>329</b>	<b>330</b>	<b>329</b>	<b>335</b>

### WISSENSCHAFTLICHE MITARBEITER (LANDESMITTEL)

FACHGEBIET	2010	2011	2012	2013
Rechts-, Wirtschafts-, und Sozialwissenschaften	90	91	86	88
Geisteswissenschaften	158	166	173	150
Naturwissenschaften	237	239	245	227
Medizin	270	279	278	264
Zentrale Servicestellen und Verwaltung	27	24	26	26
Studienkolleg Mittelhessen	10	10	10	10
<b>Insgesamt</b>	<b>791</b>	<b>809</b>	<b>818</b>	<b>765</b>

### WISSENSCHAFTLICHE MITARBEITER (DRITTMITTEL UND LOEWE)

FACHGEBIET	2010	2011	2012	2013
Rechts-, Wirtschafts-, und Sozialwissenschaften	25	24	17	25
Geisteswissenschaften	40	51	65	94
Naturwissenschaften	160	179	216	266
Medizin	133	144	156	159
Zentrale Servicestellen und Verwaltung	2	2	5	4
Studienkolleg Mittelhessen	1		1	2
<b>Insgesamt</b>	<b>360</b>	<b>400</b>	<b>460</b>	<b>549</b>

## Verbundprojekte (im Zeitraum 2010 – 2014)

### GEISTESWISSENSCHAFTEN

TITEL	LAUFZEIT	ANSPRECHPARTNER AN DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT	FACHBEREICH
Die hellenistische Polis als Lebensform. Urbane Strukturen und bürgerliche Identität zwischen Tradition und Wandel (SPP 1209, Beteiligung)	seit 2006	Prof. Dr. Winfried Held	06 Geschichte und Kulturwissenschaften
Sprachlautliche Kompetenz: Zwischen Grammatik, Signalverarbeitung und neuronaler Aktivität (SPP 1234, Beteiligung)	seit 2006	Prof. Dr. Richard Wiese	09 Germanistik und Kunstwissenschaften
Re-Konfigurationen. Geschichte, Erinnerungen und Transformationsprozesse im Mittleren Osten und Nordafrika (BMBF-Projekt)	seit 2013	Prof. Dr. Rachid Ouaisa	Centrum für Nah- und Mitteloststudien (CNMS)
Fundierung linguistischer Basiskategorien (LOEWE-Schwerpunkt)	seit 2012	Prof. Dr. Jürgen Schmidt, Prof. Dr. Richard Wiese	09 Germanistik und Kunstwissenschaften



Hanna Fischer, Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Forschungszentrum Deutscher Spracherbatlas. Foto: Rolf K. Wegst

## NATURWISSENSCHAFTEN

TITEL	LAUFZEIT	ANSPRECHPARTNER AN DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT	FACHBEREICH
Elektron-Elektron Wechselwirkung in Festkörpern (IGRK 790)	2002 – 2011	Prof. Dr. Florian Gebhard	13 Physik
Gruppenbezogene Menschenfeindlichkeit: Ursachen, Phänomenologie und Konsequenzen (GRK 884)	2004 – 2012	Prof. Dr. Ulrich Wagner	04 Psychologie
Nanodrähte und Nanoröhren: von kontrollierter Synthese zur Funktion (SPP 1165, Beteiligung)	2004 – 2010	Prof. Dr. Andreas Greiner (heute Universität Bayreuth)	15 Chemie
Intra- und interzellulärer Transport und Kommunikation (GRK 1216)	seit 2006	Prof. Dr. Uwe Maier	17 Biologie
Biodiversity and Sustainable Management of a Megadiverse Mountain Ecosystem in Southern Ecuador (FOR 816)	seit 2007	Prof. Dr. Jörg Bendix	19 Geographie
Scattering Systems with Complex Dynamics (FOR 760, Beteiligung)	seit 2007	Prof. Dr. Hans-Jürgen Stöckmann	13 Physik
Mathematische Methoden zur Extraktion quantifizierbarer Information aus komplexen Systemen (SPP 1324)	seit 2008	Prof. Dr. Stephan Dahlke	12 Mathematik und Informatik
Dynamics of Bacterial Membrane Proteins (FOR 929)	seit 2008	Prof. Dr. Peter Graumann	15 Chemie
Wandnahe Transport- und Strukturbildungsprozesse in turbulenten Rayleigh-Bénard-, Taylor-Couette- und Rohrströmungen (FOR 1182)	seit 2009	Prof. Dr. Bruno Eckhardt	13 Physik
Chromatin-Veränderungen in Differenzierung und Malignität (TRR 81, Beteiligung)	seit 2010	Prof. Dr. Renate Renkawitz-Pohl u.a.	17 Biologie
SYNMIKRO Synthetische Mikrobiologie (LOEWE-Zentrum)	seit 2010	Prof. Dr. Bruno Eckhardt	05 Evangelische Theologie 12 Mathematik und Informatik 13 Physik 15 Chemie 17 Biologie 20 Medizin 16 Pharmazie 20 Medizin
Erwartungen und Konditionierung als Basisprozesse der Placebo- und Nocebo-Reaktion: Von der Neurobiologie zur klinischen Anwendung (FOR 1328)	seit 2010	Prof. Dr. Winfried Rief	04 Psychologie
Funktionalisierung von Halbleitern (GRK 1782)	seit 2012	Prof. Dr. Kerstin Volz	13 Physik 15 Chemie
Mikrobielle Diversität in der umweltabhängigen Signalantwort (SFB 987)	seit 2012	Prof. Dr. Mohamed Marahiel	15 Chemie 17 Biologie
Struktur und Dynamik innerer Grenzflächen (SFB 1083)	seit 2013	Prof. Dr. Ulrich Höfer	13 Physik 15 Chemie
Gehirn und Handlung/The Brain in Action (IGRK 1901)	seit 2013	Prof. Dr. Frank Bremmer	13 Physik
SynChemBio – Innovative Synthesechemie (LOEWE-Schwerpunkt)	seit 2014	Prof. Dr. Eric Meggers	15 Chemie
Dynamiken der Sicherheit. Formen der Versicherheitlichung in historischer Perspektive (TRR 138)	seit 2014	Prof. Dr. Christoph Kampmann	06 Geschichte und Kulturwissenschaften
Kardinale Mechanismen der Wahrnehmung: Prädiktion, Bewertung, Kategorisierung (TRR 135, Beteiligung)	seit 2014	Prof. Dr. Frank Bremmer	13 Physik

## MEDIZIN

TITEL	LAUFZEIT	ANSPRECHPARTNER AN DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT	FACHBEREICH
Allergische Immunantworten der Lunge (TRR 22)	2005 – 2014	Prof. Dr. Harald Renz	20 Medizin 15 Chemie 17 Biologie
Angeborene Immunität der Lunge: Mechanismen des Pathogenangriffs und der Wirtsabwehr in der Pneumonie (TRR 84, Beteiligung)	seit 2010	Prof. Dr. Stefan Bauer, Prof. Dr. Bernd Schmeck	20 Medizin
Mechanismen der zellulären Kompartimentierung und deren krankheitsrelevante Veränderungen (SFB 593)	2003 – 2014	Prof. Dr. Roland Lill	20 Medizin 15 Chemie 17 Biologie
Ras-dependent Pathways in Human Cancer (TRR 17, Beteiligung)	2004 – 2013	Prof. Dr. Rolf Müller, Prof. Dr. Andreas Neubauer, Prof. Dr. Andreas Burchert	20 Medizin
RNA-Viren: Metabolismus viraler RNA, Immunantwort der Wirtszellen und virale Pathogenese (SFB 1021)	seit 2013	Prof. Dr. Stephan Becker	20 Medizin
Genetics of Drug Resistance in Cancer (KFO 210)	seit 2008	Prof. Dr. Andreas Burchert, Prof. Dr. Andreas Neubauer	20 Medizin
K2P-Kanäle – vom Molekül zur Physiologie und Pathophysiologie (FOR 1086)	seit 2008	Prof. Dr. Jürgen Daut	20 Medizin
Transkriptionskontrolle bei Entwicklungsprozessen (GRK 767)	2002 – 2010	Prof. Dr. Guntram Suske	20 Medizin
Deutsches Zentrum für Infektionsforschung (BMBF/Helmholtz-Gemeinschaft, Beteiligung)	seit 2011	Prof. Dr. Stephan Becker	20 Medizin
Deutsches Zentrum für Lungenforschung (BMBF/Helmholtz-Gemeinschaft, Beteiligung)	seit 2011	Prof. Dr. Stefan Bauer, Prof. Dr. Uta-Maria Bauer, Prof. Dr. Andreas Neubauer, Prof. Dr. Harald Renz, Prof. Dr. Bernd Schmeck, Prof. Dr. Thorsten Stiewe, Prof. Dr. Eberhard Weihe	20 Medizin
EpimiRNA: MicroRNAs in the Pathogenesis, Treatment and Prevention of Epilepsy under an Epileptogenic Insult (EU-Projekt, Beteiligung)	seit 2013	Prof. Dr. Gerhard Schratt	20 Medizin
Pemphigus - from Autoimmunity to Disease (EU-Projekt, Beteiligung)	2008 – 2011	Prof. Dr. Michael Hertl	20 Medizin
Targeting the Tumor Microenvironment to Improve Pancreatic Cancer Prognosis (EU-Projekt)	2011 – 2014	Prof. Dr. Thomas Gress	20 Medizin
Tumor und Entzündung (LOEWE-Schwerpunkt)	2008 – 2012	Prof. Dr. Rolf Müller, Prof. Dr. Harald Renz, Prof. Dr. Michael Lohoff	20 Medizin
Lungenkrankheiten – neue Wege der Diagnose und Behandlung/Universities of Giessen and Marburg Lung Center (LOEWE-Zentrum, Beteiligung)	seit 2010	Prof. Dr. Harald Renz	20 Medizin
Neurobiology of Affective Disorders: A Translational Perspective on Brain Structure and Function (FOR 2107)	seit 2014	Prof. Dr. Tilo Kircher	20 Medizin 04 Psychologie

## Promotionen (je Prüfungsjahr)

FACHGEBIET	2010	2011	2012	2013
Geisteswissenschaften	46	50	37	31
Rechts-, Wirtschafts-, und Sozialwissenschaften	61	50	57	51
Naturwissenschaften	139	151	139	149
Medizin	190	189	184	191
<b>Insgesamt</b>	<b>436</b>	<b>440</b>	<b>417</b>	<b>422</b>

## Studierende (ohne Beurlaubte, zum Wintersemester)

FACHGEBIET	2010	2011	2012	2013
Rechts-, Wirtschafts-, und Sozialwissenschaften	5.502	5.814	6.045	6.813
Geisteswissenschaften	6.628	6.753	6.985	7.741
Naturwissenschaften	6.014	6.425	6.726	7.259
Medizin	3.001	3.012	3.093	3.178
Studienkolleg Mittelhessen	294	303	362	354
<b>Insgesamt</b>	<b>21.439</b>	<b>22.307</b>	<b>23.211</b>	<b>25.345</b>
davon: Outgoings	479	453	400	478
davon: Incomings	363	365	382	304

## Absolventen (ohne Promotionen, je Studienjahr)

FACHGEBIET	2010	2011	2012	2013
Geisteswissenschaften	997	1.129	1.100	925
Medizin	435	376	387	420
Naturwissenschaften	779	869	892	831
Rechts-, Wirtschafts-, und Sozialwissenschaften	860	940	794	797
<b>Insgesamt</b>	<b>3.071</b>	<b>3.314</b>	<b>3.173</b>	<b>2.973</b>

ABSCHLUSS	2010	2011	2012	2013
Magister	228	147	81	37
Kirchliche Prüfung	12	12	8	11
Staatsexamen	676	559	518	530
Diplom	806	727	527	238
LA Gymnasien	384	417	435	330
Bachelor	810	1.107	1.072	1.081
Master	155	345	532	746
<b>Insgesamt</b>	<b>3.071</b>	<b>3.314</b>	<b>3.173</b>	<b>2.973</b>



»Mittelaltliches Chemielabor«. Dr. Michael Schween und Fritjof Schmock vom Fachbereich Chemie. Foto: Markus Farnung

## Drittmittelausgaben

FACHGEBIET	2010	2011	2012	2013
Rechts-, Wirtschafts-, und Sozialwissenschaften	2.158.756	2.698.564	2.232.044	2.224.959
Geisteswissenschaften	3.801.873	4.358.150	5.571.390	7.630.202
Naturwissenschaften	19.161.960	22.890.195	27.625.178	27.169.170
Medizin	24.059.791	27.885.088	30.482.159	26.996.469
Zentrale Servicestellen und Verwaltung	575.248	1.684.512	3.519.581	2.856.750
<b>Insgesamt</b>	<b>49.757.629</b>	<b>59.516.510</b>	<b>69.430.353</b>	<b>66.877.550</b>
davon: LOEWE	5.467.505	9.889.858	14.744.601	10.410.427

## Impressum

### HERAUSGEBER

Philipps-Universität Marburg  
Die Präsidentin  
Biegenstraße 10  
35032 Marburg  
[www.uni-marburg.de](http://www.uni-marburg.de)

### TEXT UND REDAKTION

Andrea Ruppel, Stabsstelle Corporate Publishing

### WEITERE AUTORINNEN

Vera Bettenworth, SYNMIKRO (S. 47 – 49)  
Petra Kienle, Dezernat Internationale Angelegenheiten und Familienservice (S. 22-23)

### REDAKTIONELLE MITARBEIT

Sarah Möller (S. 8 – 9, S. 18 – 21)

### GESTALTUNG

AS'C Arkadij Schewtschenko Communications, Frankfurt am Main  
[www.ascfrankfurt.de](http://www.ascfrankfurt.de)

### LEKTORAT

Dr. Claudia Caesar, ready/script, Bad Vilbel  
[www.readyscript.de](http://www.readyscript.de)

### FOTOS

Titelseite: Harvard University, Rolf K. Wegst, Markus Farnung (oben v.l.n.r.), Thomas Ernsting (unten)  
Rückseite: Anna Schroll (oben), Rolf K. Wegst (unten)  
Seite 4, 5: Rolf K. Wegst

### DRUCK

E&B engelhardt und bauer, Karlsruhe  
[www.ebdruck.de](http://www.ebdruck.de)

OKTOBER 2014

