

ChemieNews

HERAUSGEBER: INITIATIVE CHEMIE IM DIALOG

Der Wettkampf um die Weltspitze der Chemie



Führende Wissenschaftler zu
aktuellen Projekten der deutschen
Spitzenforschung.

Vorwort.....	3
Prof. Dr. Wolfram Koch.....	5
Nanotechnologie.....	10
Prof. Dr. Ulrich Buller.....	12
Prof. Dr. Horst Hahn.....	16
Prof. Dr. Jean-Marie Lehn.....	20
Prof. Dr. Joachim Maier.....	24
Prof. Dr. Klaus Müllen.....	28
Prof. Dr. Kornelius Nielsch.....	32
Katalyse.....	36
Prof. Dr. Matthias Beller.....	38
Prof. Dr. Bernhard Rieger.....	42
Prof. Dr. Ferdi Schüth.....	46
Bio- und Gentechnologie.....	50
Prof. Dr. Garabed Antranikian.....	52
Prof. Dr. Erwin Neher.....	56
Prof. Dr. Heinz Saedler.....	60
Prof. Dr. Christian Wandrey.....	64
Prof. Dr. Harald zur Hausen.....	68

Impressum

Herausgeber: Initiative „Chemie im Dialog“¹ (CID), Mainzer Landstraße 55, 60329 Frankfurt, E-Mail: kontakt@chemiemachtzukunft.de
 Redaktion und Gestaltung: Lesch + Frei GmbH, Stand: November 2009, Auflage: 50.000

¹Mitglieder: 3M Deutschland, Abbott, Akzo Nobel, Baerlocher, BASF, Bayer, Boehringer Ingelheim Pharma, CSC Jäklechemie, Dow Deutschland Anlagengesellschaft, DuPont Deutschland Holding, Evonik Industries, ExxonMobil Chemical Central Europe, Henkel, INEOS Phenol, Lanxess, Merck, PlasticsEurope Deutschland, Pröll, Sasol Germany, Sasol Solvents Germany, Schumann & Sohn, Solvay, Verband der Chemischen Industrie, Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie, Verband der Mineralfarbenindustrie, Verband TEGEWA, Wacker Chemie

Sehr geehrte Damen und Herren,



um Antworten auf die Herausforderungen der Zukunft zu finden, kommt der Chemie eine zentrale Schlüsselstellung zu: bei der Entwicklung alternativer Energiequellen, beim Klimaschutz, bei der Bekämpfung von Krankheiten oder der Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung. Bei vielen dieser Arbeits- und Forschungsgebiete nimmt Deutschland weltweit eine führende Rolle ein. Das gilt auch für die zentralen Zukunftstechnologien wie Nano-, Biotechnologie und Katalyse.

Nur mit exzellenter Forschung und neuen Technologien wird Deutschland international konkurrenzfähig bleiben. Das gilt nicht nur für die Chemie, sondern ist existenziell für unsere Industrie insgesamt. Die enge Verzahnung verschiedener Industriezweige in Deutschland ist im internationalen Vergleich ein wesentlicher Standortvorteil. Durch den Austausch unterschiedlicher Impulse werden kreative Lösungen gefunden und so die Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit des Industrielandes Deutschland gestärkt.

Weil Spitzenforschung für eine rohstoffarme Nation wie Deutschland überlebenswichtig ist, haben wir mit dem „Forum Chemie macht Zukunft“ eine Plattform für hochrangige Wissenschaftler

geschaffen, die sich dort direkt über ihre Arbeitsgebiete austauschen. In diesem Magazin haben wir die bisherigen Beiträge zusammengeführt. Entstanden ist eine spannende Übersicht über faszinierende, teilweise schon sehr weit entwickelte Forschungsprojekte – ob im Bereich neuer Behandlungsmöglichkeiten von Krankheiten, beim Erschließen neuer Energiequellen, der effizienteren Nutzung von Ressourcen oder der Entlastung unseres Klimas.

Für uns als Industrie sind solche Forschungsergebnisse ein zentraler Baustein, um Antworten auf die großen Herausforderungen unserer Zeit zu finden und so unsere Unternehmen fit für die Zukunft zu machen. Wir möchten Sie frühzeitig darüber informieren und einen Dialog über die Möglichkeiten neuer Technologien führen. Denn wir brauchen bei der weiteren Entwicklung und Nutzung der Forschungsergebnisse Ihre Unterstützung und Akzeptanz.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen.

Dr. Wolfgang Plischke
Vorsitzender der
Initiative Chemie im Dialog

**»» Die größten
Probleme der
Menschheit
sind ohne
Chemie nicht
zu lösen.««**



Professor Dr. Wolfram Koch

Der Chemiker Wolfram Koch wurde 1959 in Darmstadt geboren und ist seit 2002 Geschäftsführer der Gesellschaft Deutscher Chemiker in Frankfurt am Main. Als Spezialist für theoretische Chemie hat er viele Jahre für IBM gearbeitet und von 1992 bis 1998 an der TU Berlin gelehrt. Im Interview erläutert er den erstaunlichen Beitrag chemischer Produkte zur Minderung der Treibhausgasemissionen und warum wichtige Zukunftsaufgaben wie Ressourcenschonung oder Energieeffizienz ohne innovative Forschung in den Bereichen Katalyse, Bio- und Nanotechnologie gar nicht lösbar sein werden.

Professor Wolfram Koch, die Leistungen der chemischen Forschung sehen wir meist nicht direkt, weil sie in den Produkten nicht erkennbar sind. Worin besteht der Beitrag der Wissenschaft Chemie?

Die Chemie untersucht den Aufbau und die Umwandlung von Stoffen. Wann immer wir neue, bessere Produkte, wirksamere Medikamente oder auch umweltfreundlichere Technologien schaffen wollen, kommen wir ohne Chemie nicht aus, denn alles in unserer Umgebung ist stofflich. Mittlerweile wird auch in der breiten Öffentlichkeit vermehrt wahrgenommen, dass die Chemie zentraler Teil der Lösung vieler Probleme ist.

In welchen Bereichen bietet die Chemie solche zentralen Lösungsansätze an?

Der Chemienobelpreisträger Richard Smalley hat vor einigen Jahren die zehn wichtigsten Probleme der Menschheit aufgelistet. Darunter sind Themen wie genügend Nahrung für die wachsende Weltbevölkerung, sauberes Wasser, Bekämpfung von Krankheiten, Energie oder Umweltschutz. Sie alle sind ohne Biotechnologie beziehungsweise Gentechnik, Katalyse oder nanotechnologische Methoden gar nicht lösbar. Die Biotechnologie beispielsweise, die trotz ihres Namens tief in der Chemie verwurzelt ist, hilft uns bei der Umsetzung von Stoffen mithilfe von

Bakterien, Pilzen, Zellkulturen und Enzymen. Eine Idee ist hier, Bioraffinerien Wirklichkeit werden zu lassen, damit wir verstärkt fossile Rohstoffe durch nachwachsende ersetzen können. Vereinfacht gesagt, wird man in einer Bioraffinerie aus Stroh, Holz und anderen Pflanzenresten Kraftstoffe und Rohstoffe für die chemische Industrie produzieren.

»Ohne Chemie wären 2005 die Treibhausgasemissionen 10 Prozent höher gewesen.«

Wo hilft uns die Katalyse?

Sie zieht sich wie ein roter Faden durch alle chemischen Verfahren hindurch. Annähernd 90 Prozent aller Prozesse in der Chemie laufen heute nur ab, weil katalytisch wirkende Stoffe chemische Reaktionen überhaupt erst ermöglichen oder beschleunigen. Eine entscheidende Rolle wird die Katalyse auch bei der Ressourcenschonung spielen. Die Entwicklung synthetischer Kraftstoffe etwa hängt sehr stark von geeigneten Katalysatoren ab.

Und mit der Nanotechnologie lässt sich Energie effizienter nutzen?

Unter anderem. Wobei zunächst einmal festgehalten werden muss, dass in der Nanotechnologie molekulare Prozesse im Vordergrund stehen, es sich also auch hier weitgehend um Chemie handelt. Ein gutes Beispiel für die bedeutende Rolle der Nanotechnologie in der Energieforschung ist der Einsatz von Nanomaterialien für neue Membranen und Elektroden in der Batterietechnik. So können Lithium-Ionen-Batterien mit höherer Ladekapazität erreicht werden. Aber auch in der Photovoltaik werden nanotechnologische Methoden immer wichtiger. So verringern nanostrukturierte Oberflächen bei Solarzellen die Reflexion und steigern damit den Wirkungsgrad. Und auch die nächste Generation von Photovoltaikzellen – auf der Basis von organischen Halbleitern – wird nur dank Nanotechnologie funktionieren.

Zu den großen Aufgaben der Zukunft gehört es, weniger Treibhausgase in die Atmosphäre freizusetzen. Was trägt die chemische Industrie selbst zur Minderung dieser Emissionen bei?

In der öffentlichen Diskussion ist meist nur die Rede von CO₂. Es gibt aber noch andere Treibhausgase, die vom Menschen verursacht werden. 20 Prozent des anthropogenen Treibhauseffekts gehen auf Methan

zurück, das 23-mal so stark wirkt wie Kohlendioxid. Lachgas wirkt sogar fast 300-mal so stark. Es fällt als Nebenprodukt bei der Herstellung von Salpetersäure an, die man wiederum vor allem bei der Produktion von Düngemitteln oder Farbstoffen einsetzt. Hier hat die Chemie neue katalytische Verfahren entwickelt, mit denen Lachgas an Ort und Stelle in seine harmlosen Bestandteile Sauerstoff und Stickstoff zerlegt wird. Das ist ein großer Beitrag zum Klimaschutz, weil bei der Weltjahresproduktion von 60 Millionen Tonnen Salpetersäure über 40.000 Tonnen Lachgas entstehen. Überhaupt sind moderne chemische Produkte viel umweltverträglicher, als den meisten bewusst ist.

Woran kann man das festmachen?

Der Weltchemieverband hat eine Studie in Auftrag gegeben und von neutralen Institutionen überprüfen lassen. Dabei wurde auf der Basis von 2005 der Lebensweg von 100 ausgewählten und repräsentativen Chemieprodukten in Bezug auf ihre Treibhausgasemissionen untersucht, also von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung und den Einsatz eines Produkts bis zu seiner Entsorgung, wobei man andere anfallende Treibhausgase in ihr jeweiliges CO₂-Äquivalent umrechnete. Das Resultat hat mich selbst überrascht. Für jede Tonne CO₂-Äquivalent, die ein Chemieprodukt auf seinem Lebensweg erzeugt, werden

2,6 Tonnen wieder eingespart. Ohne diese Produkte wäre der Ausstoß an Treibhausgasen 2005 weltweit etwa um 10 Prozent höher ausgefallen. Bis zum Jahr 2030 könnte die Einsparung durch Chemieprodukte laut der Studie sogar noch deutlich höher liegen. Um wie viel, hängt von bestimmten Rahmenbedingungen – etwa ein Klimaschutzabkommen, das weltweit gleiche Regeln für Chemieproduzenten schaffen wird – ab.

Welche weiteren Innovationen erwarten Sie von der Chemie?

In Bezug auf erneuerbare Energien ist eines der spannendsten Zukunftsthemen chemisch gesehen die photokatalytische Wasserspaltung. Mithilfe des Sonnenlichts könnte man auf diese Weise zum Beispiel Wasserstoff erzeugen – als Energieträger für eine Brennstoffzelle beziehungsweise zur stofflichen Nutzung von CO₂. Deutschland sollte die Forschung auf diesem Gebiet intensivieren. Auch die Forschung an sogenannten Energiepflanzen ist von Bedeutung. Damit sich dabei keine Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion aufbaut, brauchen wir schnell wachsende und gleichzeitig sehr anspruchslose Pflanzen, die auf kargen Böden gedeihen. Das werden wir nur mithilfe von grüner Gentechnologie erreichen.

»Auf Jungchemiker warten große Aufgaben.«

Wie hat sich die Chemie seit Ihrer Studienzeit eigentlich gewandelt?

Sie ist um einiges interdisziplinärer geworden. Ein Physiker, der sich heute mit Nanotechnologie beschäftigt, sollte auch die molekularen Wechselwirkungen verstehen. Dasselbe gilt bei der Biologie, denn das meiste, was in den so schön als Lebenswissenschaften bezeichneten Gebieten geschieht, ist weitestgehend Chemie, auch wenn das manchmal nicht so deutlich wird. Mich hat es immer verblüfft, dass man im Labor solche außerordentlich komplexe Moleküle wie Naturstoffe nachbauen kann. Aber auch das theoretische Verständnis in der Chemie ist ungemein größer als früher. Dennoch warten auf die Jungchemikerin und den Jungchemiker immer noch viele große Aufgaben.

Nanotechnologie

Chancen für neue Materialien

Unter dem Sammelbegriff Nanotechnologie werden Forschungsaktivitäten, Techniken und Produkte aus den verschiedensten Anwendungsgebieten zusammengefasst, bei denen die Materialstrukturen in der Größenordnung von Nanometern liegen. Ein Nanometer ist der milliardste Teil eines Meters. Er verhält sich zu einem Meter wie der Durchmesser einer Haselnuss zu dem der Erde. Diese winzigen Dimensionen im Bereich von Molekülen und Atomen wurden den Materialwissenschaftlern Mitte der Achtzigerjahre durch sogenannte Rastersondenmikroskope zugänglich. Diese ermöglichten es erstmals, eine Oberfläche mittels einer Sonde Punkt für Punkt abzutasten.

Nanostrukturen besitzen ein viel größeres Verhältnis von Oberfläche zu Volumen als größere Objekte. Dadurch haben sie besondere chemische und physikalische Eigenschaften, die man mit verschiedenen Methoden gezielt zur Herstellung von neuen Materialien nutzen kann: zum Beispiel für Stoffe, die Schmutz abweisen, leichter, härter oder hitzebeständiger sind. Man kann mit ihnen auch Gase effizienter speichern oder filtern und sie für elektronische und thermoelektrische Bauteile nutzen. Und in der Medizin könnten Nanopartikel, Nanohüllen oder Nanofolien künftig Diagnosen, Therapien und den Schutz vor Keimen verbessern. Für die Grundlagenforscher besonders faszinierend ist die Aussicht, in der Nanowelt neue physikalische Phänomene zu entdecken. Davon erhofft man sich weitere Fortschritte – bis hin zu Materialien, deren Eigenschaften reversibel und je nach Bedarf steuerbar sind.

Experten:



Prof. Dr. Ulrich Buller,
Forschungschef der
Fraunhofer-Gesellschaft



Prof. Dr. Horst Hahn,
Direktor am Forschungs-
zentrum Karlsruhe



Prof. Dr. Jean-Marie Lehn,
Nobelpreisträger



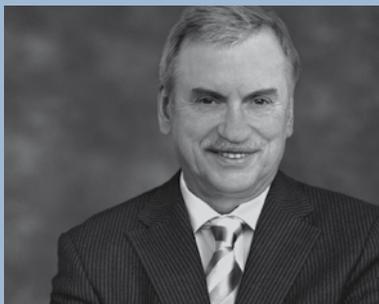
Prof. Dr. Joachim Maier,
Direktor am Max-Planck-
Institut für Festkörper-
forschung



Prof. Dr. Klaus Müllen,
Direktor am Max-Planck-
Institut für Polymer-
forschung



Prof. Dr. Kornelius
Nielsch, Universität
Hamburg



Professor Dr. Ulrich Buller

Der Chemiker Ulrich Buller wurde 1946 in Münster geboren und ist Honorarprofessor für Technische Chemie an der Universität Potsdam. Zunächst Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung, ist er heute für die gesamte Forschungsplanung der 56 Institute umfassenden Fraunhofer-Gesellschaft verantwortlich. Mit ihren über 13.000 Mitarbeitern gehört die Gesellschaft zu den führenden Forschungsorganisationen Europas. Prof. Buller beschreibt im Interview mögliche Anwendungen der Nanotechnologie bei der Entwicklung zukünftiger Energiesysteme, in der Medizin und in den Materialwissenschaften.

- 1. Wer oder was hat Sie zur Chemie gebracht?**
Mein Chemielehrer.
- 2. Wann oder wo kommen Ihnen die besten Ideen?**
Einerseits beim Wandern, andererseits beim gemütlichen Erzählen.
- 3. In Ihrem Kühlschrank findet sich immer ...?**
Nicht mein Rotwein!
- 4. Welcher Film hat Sie besonders beeindruckt?**
„Lola rennt“ von Tom Tykwer.
- 5. Welches Buch liegt zurzeit auf Ihrem Nachttisch?**
Daniel Kehlmann: „Die Vermessung der Welt“.
- 6. Was wäre für Sie als Wissenschaftler das größte Glück?**
Wie alle Menschen möchte ich gesund alt werden.
- 7. Was ist Ihr Lieblingsmolekül?**
Methan. Es ist ein elegantes, kleines, tetraedrisches Molekül und doch hat es eine zentrale Bedeutung: So wird aus Methan CO und H₂ gewonnen, damit ist die gesamte C₁-Chemie zugänglich (Methanol → Essigsäure und anderes mehr).
- 8. Welche ist die wichtigste ungelöste Frage in der Chemie?**
Eine billige CO₂-Chemie.
- 9. Und welche Frage der Chemie wird in Zukunft, in den nächsten 50 Jahren, gelöst sein?**
Die Sequestrierung von CO₂ über neue katalytische Verfahren.
- 10. Wo möchten Sie am liebsten leben?**
In der Nähe von guten Freunden.
- 11. Würden Sie lieber in die Politik oder ins Show-Business gehen?**
Dann schon lieber in die Politik.
- 12. Was hat Sie in der Chemie am meisten verblüfft?**
Ich kann sein, wo ich will, und überall habe ich Fragestellungen aus der Chemie vor Augen.
- 13. Wem würden Sie einen Forschungs- oder gar Nobelpreis verleihen?**
Jedem Team, dem es gelingt, eine Geißel der Menschheit durch eine multidisziplinäre Entwicklung in den Naturwissenschaften zu überwinden.
- 14. Mit welchem Wissenschaftler würden Sie gern einmal diskutieren beziehungsweise hätten Sie gern einmal diskutiert?**
Mit dem Chemienobelpreisträger Linus Pauling.
- 15. Was braucht man, um ein hervorragender Chemiker zu werden?**
Kreativität, Geduld und Beharrlichkeit.
- 16. Welche Tipps geben Sie Nachwuchskemikern?**
Selbst eigene Ideen entwickeln, aufopfernder Fleiß, Durststrecken stoisch durchstehen.

»»Die Nanotechnologie spielt bei der Entwicklung neuer Energiesysteme eine entscheidende Rolle.««

Professor Ulrich Buller, der Begriff Nano taucht immer häufiger auch in Zusammenhang mit Energie auf. Woher kommt die Faszination für die Nanotechnologie?

Tatsächlich wird der Begriff Nanotechnologie etwas allzu beliebig verwendet. Nano ist ja zuerst einmal nicht mehr als eine Größenbezeichnung, typischerweise für den milliardsten Teil eines Meters. Es gibt aber durchaus gute Gründe für diese Faszination. Wir alle sind Augenmenschen, und heute kann die Wissenschaft dank rastermikroskopischer Verfahren Bereiche sichtbar machen, die uns zuvor unzugänglich waren. Nicht umsonst werden für die Entwicklung solcher Mikroskope regelmäßig bedeutende Forschungspreise vergeben. Wenn wir sehen können, wie und warum beispielsweise beim Lotuseffekt ein Wassertropfen an einer nanobeschichteten Oberfläche abperlt, sind wir von den tollen Möglichkeiten dieser neuen Technologie eben schnell überzeugt.

»Mit Nanotechnologie können Medikamente gezielt zu erkrankten Zellen gebracht werden.«

Was werden wir sonst noch alles zu sehen bekommen?

Alle Lebensvorgänge in unseren Zellen spielen sich im Nanobereich ab. Das ist der zweite wichtige Grund, warum man sich für die Nanotechnologie begeistern kann. Sie eröffnet uns neue Möglichkeiten, medizinische Wirkstoffe im Körper gezielt zu erkrankten Zellen zu bringen. Nanopartikel werden dabei mit unterschiedlichen Polymeren und Polyelektrolyten beschichtet, die systematisch mit unterschiedlicher Ladung, Ladungsdichte und Struktur kombiniert werden. Diese „Layer-by-Layer-

Verpackung“ ermöglicht es dem Partikel, die Blut-Hirn-Schranke zu überwinden und seinen Wirkstoff im Gehirn freizusetzen. Andere der unzähligen Anwendungsmöglichkeiten betreffen die Materialwissenschaften oder die Elektronik, etwa OLED-Bildschirme.

Sie meinen organische Leuchtdioden?

Ja. Solche Displays sind energiesparender als alles bisher Dagewesene. Aber sie altern unter dem Einfluss von Sauerstoff und Wasserdampf noch viel zu schnell. Das lässt sich mit einer cleveren Kombination von nanodünnen Barrierschichten aus Polymeren und anorganischen Hybridmaterialien verhindern. Viele Membranen verfügen über Nanostrukturen, zum Beispiel in Lithium-Ionen-Batterien, in organischen Solarzellen zur Stromerzeugung oder in spezifischen Wasserreinigungstechnologien, die Stoffe in Nanogröße herausfiltern sollen. Das Prinzip der nanodünnen Barrierschichten wird auch für Vakuumisulationspaneele in der Gebäudetechnik genutzt.

Werden dann klassische Wärmedämmsysteme überflüssig?

Das kann man so nicht sagen. Aber sie werden optimal ergänzt. Zum Beispiel ist es bei der Sanierung von Altbauten oder historischen Gebäuden oft nicht möglich, herkömmliche Wärmedämmung einzusetzen. Durch neue Wärmedämmputze könnte man bei solchen Häusern jedoch etwa 35 Prozent Heizenergie sparen. Angesichts der Klimaproblematik wäre das bereits ein beachtlicher Fortschritt.

Welches Energiesystem wird sich in Zukunft durchsetzen?

Ich glaube nicht, dass es künftig nur ein Energiesystem geben wird. Wir werden den Energiemix vorantreiben. Zumindest in den kommenden Jahrzehnten werden die unterschiedlichen Systeme miteinander konkurrieren und sich ergänzen. Wenn das zentrale Problem der Wasserstoffspeicherung einmal gelöst ist, könnte Wasserstoff als Energieträger mehr Gewicht bekommen. Doch man wird wohl immer die Möglichkeiten nutzen wollen, die sich vor Ort als am produktivsten erweisen, ob Gezeitenunterschiede nahe am Meer, die Photovoltaik in der

Sahara, den Wind an exponierten Stellen oder den wirtschaftlichen Anbau von Energiepflanzen. Sicher ist aber, dass die Nanotechnologie in den Zukunftstechnologien eine entscheidende Rolle spielen wird – von belastbareren und ultraleichten Materialien für neue Windräder über organische Solarzellen bis zur Entwicklung von Membranen für Brennstoffzellen oder von Systemen zur Gewinnung von thermoelektrischer Energie aus der Bremsenergie bei Fahrzeugen.

»Heute muss uns klar sein, dass wir einen Energiemix brauchen und dafür einen Mix an Forschung.«

Sie haben als Wissenschaftler bei den Energiefragen auch eine gesellschaftliche Aufgabe. Wie sieht diese aus?

Wir Forscher und unsere Institutionen müssen möglichst schnell mehrere Handlungsoptionen deutlich machen. Dazu müssen wir gemeinsam – Wirtschaft und Wissenschaft – auf breiter Basis Technologien und Produkte entwickeln, die einen klimaschonenden Energiemix ermöglichen. Dieser Wettbewerb um optimale Lösungen schafft Entscheidungsfreiheit für den Bürger und Voraussetzungen für zukunftssichere Arbeitsplätze.

Brauchen wir zur Umsetzung all dieser Visionen eine konzertierte Aktion der Forschung?

Es gibt die Tendenz, große Themen in einer einzigen großen Aktivität zu bündeln und die eine herausragende Lösung zu suchen. Ich bin ob des Erfolgs dieser Strategie hinsichtlich der Themen Klima und Energie skeptisch. Diese Mega-Themen müssen vielfältig und komplex bearbeitet werden. Es ist bezeich-

nend, dass alle 17 Zukunftsfelder der Hightech-Strategie der Bundesregierung Bezüge hierzu haben. Es wird in dieser nationalen Konzeption deutlich, dass die Bundesregierung den Themen Energie und Klima großes Gewicht beimisst.

Gibt es bereits ausreichend Kooperation innerhalb der Forschung?

In diesem Punkt gibt es sicherlich noch Defizite in Deutschland. Unsere Forschungslandschaft ist sehr komplex. Die vier großen Forschungsinstitutionen außerhalb der Universitäten und technischen Hochschulen, die Fraunhofer-Gesellschaft, die Helmholtz-Gemeinschaft, die Gottfried-Wilhelm-Leibniz-Gemeinschaft und die Max-Planck-Gesellschaft, haben zwar jeweils ihre Schwerpunkte und Missionen, zusätzliche Kooperationen können aber sicher in vielen Themen eine Beschleunigung des Innovationsprozesses bewirken. Die Fraunhofer-Gesellschaft und die Max-Planck-Gesellschaft haben deshalb eine Initiative gestartet, um gemeinsam Themen von der Grundlagen- und der Anwendungsseite anzugehen.

Wo zum Beispiel?

In der Membrantechnik, sowohl bei der Entwicklung von Brennstoffzellentypen als auch im Pharmabereich; im Bereich der Multiskalensimulation von Werkstoffen, das heißt von der Atomskala bis zum Bauteil; bei der Entwicklung von Röntgenlasern für Qualitätssicherung und Strukturierung in der Mikroelektronik, um nur einige Beispiele zu nennen. Alle Forschungseinrichtungen verbindet zudem ein Problem: Uns fehlt der Nachwuchs. Wir müssen noch mehr tun, um die Faszination für diese und andere Themen zu wecken. Die herausragenden Möglichkeiten der Nanotechnologie könnten ein Vorbild hierfür sein. Vielleicht ist auch die Klimaproblematik für die Jugend Motivation, sich vermehrt wieder den Naturwissenschaften zuzuwenden. Ich halte uns alle jedenfalls für schlau und beweglich genug, um die große Klimaherausforderung zu meistern.



Professor Dr. Horst Hahn

Der Physiker Horst Werner Hahn wurde 1952 in Saarbrücken geboren. Er leitet das Institut für Nanotechnologie am Forschungszentrum Karlsruhe, das nach der Fusion mit der TU Karlsruhe 2009 jetzt „Karlsruhe Institute of Technology“ heißt und die größte Forschungseinrichtung Deutschlands ist. Als Experte für Werkstoffe erklärt Prof. Hahn im Interview, wie man dank nanotechnologischer Methoden Materialien mit speziellen Eigenschaften entwickeln kann. Solche Materialien sind zum Beispiel auch die Grundlage für effiziente, ressourcenschonende und kostengünstigere Energiesysteme.

1. Wer oder was hat Sie zur Physik und Technik gebracht?

Das Interesse an den Vorgängen in der Natur und meine frühen Kontakte zu technischen Systemen.

2. Wann oder wo kommen Ihnen die besten Ideen?

Wenn ich in aller Ruhe und völlig entspannt nachdenken kann, beim Wandern, beim Radfahren und beim Betrachten der Natur. Vermutlich oft auch im Schlaf, aber leider kann ich mich nur selten daran erinnern.

3. In Ihrem Kühlschrank findet sich immer ...?

Einige Konserven, wenn es im Institut zu spät geworden ist. Und Obst zum Frühstück.

4. Welcher Film hat Sie besonders beeindruckt?

Die Serie „Fawlty Towers“ mit John Cleese.

5. Welches Buch liegt zurzeit auf Ihrem Nachttisch?

Ein Thriller. Und selbst dann schlafe ich meist nach wenigen Seiten ein. Ansonsten lese ich im Urlaub auch Sachbücher zur Umwelt- und Energieproblematik. Am Wochenende: „Die Schock-Strategie – der Aufstieg des Katastrophen-Kapitalismus“ von Naomi Klein.

6. Was wäre für Sie als Wissenschaftler das größte Glück?

Eine Entwicklung anzustoßen, die viele Kollegen inspiriert und einen Einfluss auf unsere Gesellschaft hat.

7. Was ist Ihr Lieblingsatom?

Eisen. Wegen seiner Bedeutung, der universellen Einsetzbarkeit und weiten Verbreitung.

8. Welche ist die wichtigste ungelöste Frage in der Nanotechnologie?

Die kommerzielle Nutzung der faszinierenden Entdeckungen.

9. Und welche Frage der Nanotechnologie wird in Zukunft, in den nächsten 50 Jahren, gelöst sein?

Die photokatalytische Wasserspaltung – durch gemeinsame Arbeit von Chemikern, Physikern und Materialwissenschaftlern.

10. Wo möchten Sie am liebsten leben?

Ich fühle mich sehr wohl, wo ich seit Jahren bin. Könnte ich etwas ändern, dann würde die Sonne ein bisschen mehr scheinen, denn angenehmes Klima inspiriert mich.

11. Würden Sie lieber in die Politik oder ins Show-Business gehen?

Beides auf keinen Fall.

12. Was hat Sie in der Nanotechnologie am meisten verblüfft?

Dass man nach der Entdeckung der Rastersondenmethoden so schnell gelernt hat, einzelne Atome zu manipulieren.

13. Wem würden Sie einen Forschungs- oder gar Nobelpreis verleihen?

Ich kenne einige Kollegen, die wesentliche und nachhaltige Beiträge zum Fortschritt der Physik, Chemie oder Technikwissenschaften geleistet haben. Einige habe ich schon für Forschungspreise nominiert, bei manchen auch erfolgreich. Namen möchte ich jedoch nicht nennen, um nicht jemanden zu vergessen.

14. Mit welchem Wissenschaftler würden Sie gern einmal diskutieren beziehungsweise hätten Sie gern einmal diskutiert?

Mit Demokrit.

15. Wie wird man ein hervorragender Physiker?

Wissenschaftler brauchen Freiräume und Zeit zum Forschen, Nachdenken und zum Entwickeln von Ideen. Dies zu erhalten wird immer schwieriger.

16. Welche Tipps geben Sie Nachwuchswissenschaftlern?

Nachwuchswissenschaftler sollten sich frühzeitig informieren, welche Regeln gelten, um sich in der internationalen Forschungslandschaft zu etablieren. Und dann danach handeln. Es ist sehr wichtig, ein interessantes und aktuelles Thema zu wählen und in einem freien Umfeld eigenständige Forschung zu betreiben. Und sich auf einige wenige Themen zu konzentrieren und dort exzellente Arbeit zu leisten.

»» Wenn Forschung und Politik nun näher zusammenrücken, bewirkt diese Krise sogar etwas Positives.«

Professor Horst Hahn, wirkt sich die Weltwirtschaftskrise auch auf die Forschung in Deutschland aus?

Bis jetzt noch nicht. Wirtschaftliche Einbrüche bieten ja auch Chancen, wenn man berücksichtigt, dass Forschung langfristig angelegt ist. Die Industrie könnte sich für den Aufschwung danach mit innovativen Lösungen auf dem Weltmarkt positionieren. Das bedeutet, wenn wir uns jetzt auf die großen Herausforderungen unserer Zeit konzentrieren, können wir der Krise sogar etwas Positives abgewinnen.

Welche Herausforderung müssen wir angehen?

Ich wünsche mir ein gut abgestimmtes Forschungsprogramm für unsere zukünftige Energieversorgung. Die Energiefrage bereitet nicht nur mir große Sorgen. Sie ist eine immense Aufgabe. Wenn Forschung, Industrie und Politik gemeinsam nach einem Plan handeln, können wir viel bewegen.

»Europa braucht eine koordinierte Energieforschung, sonst übernimmt Asien die Führung.«

Sollte ein solcher Plan über die deutschen Grenzen hinausreichen?

Unbedingt. Europa muss die Energieforschung breit anlegen und koordiniert zusammenarbeiten, sonst übernimmt Asien die technologische Führung. Darin sind wir Wissenschaftler uns alle einig. Deshalb bemühen wir uns auch hier in Karlsruhe intensiv, die notwendigen Netzwerke zu knüpfen. Energie und Klimavorsorge ist ein weites Feld, das

es in alle Richtungen auszuloten gilt, mit dem Ziel einer klimaverträglichen Energieversorgung.

Was kann die Nanotechnologie zur Lösung des Energieproblems beitragen?

Sie bietet faszinierende Möglichkeiten, neue Materialien mit besonderen Eigenschaften zu entwickeln. Materialien sind die Grundlage aller Energiesysteme. Der Tank eines Brennstoffzellenfahrzeugs soll beispielsweise Wasserstoff schnell aufnehmen und abgeben, eine Batterie Lithium rasch zwischen Kathode und Anode austauschen. Und für die vermehrte Nutzung erneuerbarer Energien oder den Ersatz von Benzin als Treibstoff benötigen wir Speicher mit einer hohen Energiedichte. Da ist uns die Natur mit ihren fossilen Rohstoffen jedoch noch weit voraus. Allein in einem Liter Benzin steckt so viel Energie wie heute in einer 75 Kilogramm schweren Batterie.

Solche Anforderungen erfüllen nur nanostrukturierte Materialien?

Ja, denn bei einem Wasserstoffspeichermaterial beispielsweise ist es wichtig, dass es möglichst viele innere Grenzflächen hat, an denen die Moleküle andocken können. Nanoporen sind ideal, weil das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen wie bei einer Kugel wächst, wenn der Durchmesser abnimmt. Grundsätzlich bestimmt die Mikrostruktur eines Materials die meisten seiner Eigenschaften. Ein Metalldraht zum Beispiel ist leicht zu verbiegen. Das liegt an seiner speziellen Beschaffenheit, an der sogenannten Korngröße, die seine innere Struktur bestimmt. Baut man nun ein Material aus Nanopartikeln auf, kann man etwa seine Festigkeit enorm steigern. Analog lassen sich durch Nanostrukturierung auch die elektrischen, magnetischen oder optischen Eigenschaften eines Materials verbessern.

Welche Techniken stehen Ihnen bei diesem Forschungsgebiet zur Verfügung?

Es gibt zahlreiche Methoden, sowohl zur Untersuchung als auch zur Herstellung von Nanomaterialien. Mit den modernsten Elektronenmikroskopen können wir bis auf die Ebene der einzelnen Atome sehen. Ein Beispiel aus der Herstellung: Mit elektro-

chemischen Verfahren lösen wir bestimmte Atome aus einem Gitter heraus und erzeugen so – wie bei einem Schweizer Käse – ein löchriges Material, in dessen Nanoporen wir dann einen Elektrolyten für eine Batterie füllen. Und Druckverfahren helfen uns bei der Herstellung von billiger Elektronik. So kann man beispielsweise mit einer Art Tintenstrahldrucker winzige Strukturen schreiben. Oder man stempelt sie auf ein Trägermaterial.

»Dank Nanotechnologie
gelingen uns
vielleicht
ähnlich gute
Energiespeicher wie
der Natur.«

Wie eine Adresse auf einen Briefumschlag?

Das ist die Idee. Druckverfahren sind deshalb attraktiv, weil sie sehr preisgünstig sind. Strukturen, die im Bereich von einigen zehn Nanometern liegen, vor allem großflächig und industriell einsetzbar zu machen, ist allerdings eine Herausforderung und die nächste Stufe der Entwicklung. Langfristig geht es darum, aktive und passive elektronische Komponenten aus organischer oder anorganischer Materie aufzubauen. Wir in Karlsruhe setzen dabei mehr auf anorganische Stoffe, weil sie haltbarer sind als organische und mobilere Ladungsträger haben. Diese Nanoelektronik wird nicht so leistungsfähig werden wie ein Chip im Laptop, aber für viele Anwendungen, etwa zur automatischen Erfassung von Waren oder allgemein für Sensoren, ist das auch gar nicht notwendig.

Sind winzige, druckbare Batterien ebenfalls denkbar?

Durchaus, man nimmt eine spezielle Unterlage, druckt darauf eine Anode und Kathode und tränkt sie mit einem Elektrolyten. Zusammen mit einer elektronischen Schaltung erhält man so ein komplettes elektronisches System, inklusive Stromversorgung. Damit ist es vorstellbar, Solarzellen direkt mit einem Energiespeicher zu koppeln. In der Solarenergie haben nanostrukturierte Materialien insgesamt ein beträchtliches Anwendungspotenzial.

Was muss man sich unter den sogenannten steuerbaren Nanomaterialien vorstellen?

Ähnlich, wie man bei Halbleitern den elektrischen Widerstand beeinflusst, möchten wir mithilfe eines von außen angelegten elektrischen Feldes noch andere Materialeigenschaften kontinuierlich und insbesondere reversibel verändern können. Zum Beispiel die Länge eines Nanostäbchens, damit es etwas anderes bewegt. Oder optische Eigenschaften steuern. Es gibt erste Hinweise, dass sich mit einem elektrischen Feld die Färbung gewisser transparenter Materialien verändern lässt. Beschichtet man damit die Hausfenster, könnte man über die Spannung einer kleinen Batterie stufenlos regeln, ob in die Zimmer viel oder weniger Sonnenlicht scheinen soll. Auch steuerbare chemische Katalysatoren sind eine Vision.

Mithilfe einer Spannung würden Sie einen Katalysator regeln?

Die Chemie braucht zur Beschleunigung von Reaktionen sehr viele unterschiedliche und zum Teil sehr teure Katalysatoren. Wenn es gelingt, die Oberfläche eines Katalysators mit einem Schalter so feinzusteuern, dass er je nach Bedarf für verschiedene Reaktionen einsetzbar wird, könnten wir Kosten, Ressourcen und Energie einsparen. Das freilich ist ein ganz persönlicher wissenschaftlicher Traum.



Professor Dr. Jean-Marie Lehn

Jean-Marie Lehn, 1939 im Elsass geboren, erhielt 1987 zusammen mit Donald J. Cram und Charles J. Pedersen den Chemienobelpreis für seine Arbeiten zur molekularen Erkennung. Er ist Professor am Collège de France sowie an der Universität Louis Pasteur in Straßburg und gehört zu den renommiertesten Chemikern der Gegenwart. Im Interview erklärt Prof. Lehn die zentrale Rolle der molekularen Erkennung für unsere Lebensprozesse. Mithilfe der supramolekularen Chemie erforscht er die Selbstorganisation der Materie. Er entwirft Visionen für medizinische Anwendungen, die sich aus dem Zusammenspiel von Chemie und Nanotechnologie ergeben.

Nobelpreis für Chemie 1987

Den Chemienobelpreis 1987 erhielt Professor Jean-Marie Lehn zusammen mit den US-amerikanischen Professoren Donald James Cram und Charles John Pedersen „für die Entwicklung und Verwendung von Molekülen mit strukturspezifischer Wechselwirkung von hoher Selektivität“. Hinter dieser offiziellen Formulierung des Nobelkomitees verbirgt sich die fundamentale Fragestellung, wie Materie überhaupt komplex werden konnte. Die Frage also, welche Naturgesetze dafür gesorgt haben, dass sich über Jahrmilliarden aus Atomen Moleküle gebildet haben, und aus diesen alle höheren Strukturen bis hin zum Leben auf der Erde.

Die Forschungen von Jean-Marie Lehn und seinen Kollegen zu dieser Frage haben zu einem neuen Gebiet der Chemie geführt, dem er den Namen „supramolekulare Chemie“ gab. Die supramolekulare Chemie untersucht, wie sich unterschiedliche

Moleküle zu komplexeren Strukturen zusammenschließen. Verantwortlich für die Organisation der Moleküle zu höheren Strukturen sind verschiedene physikalische Kräfte. Damit sich Moleküle aber überhaupt zusammenschließen können, müssen sie sich zuerst erkennen. Sie müssen zueinander passen wie ein Schlüssel zu einem Schloss, weshalb man diesen Zweig der Chemie auch als Schlüssel-Schloss- oder Wirt-Gast-Chemie bezeichnet.

Das Prinzip der molekularen Erkennung spielt in allen biologischen Prozessen eine fundamentale Rolle. Bereits 1968 war Jean-Marie Lehn die Synthese von Molekülen mit inneren Hohlräumen gelungen, in die andere chemische Bausteine eingeschlossen werden können. Inzwischen wird weltweit und interdisziplinär an vielen Anwendungen der supramolekularen Chemie geforscht. Sie reichen von der Elektronik über neue Materialien bis hin zu Anwendungen in der Medizin, beispielsweise für die Diagnose oder die Bekämpfung von Erkrankungen.

**»Mit Chemie lässt
sich das Leben
entschlüsseln.«**

Professor Jean-Marie Lehn, was ist Ihre Vision als Chemiker?

Die Biologie will die Gesetze des Lebens finden, die Physik diejenigen des Universums. Ich möchte verstehen, wie überhaupt Organismen entstanden sind, die sich solche Fragen ausdenken können. Die Chemie hat die Mittel und sogar die Aufgabe, auf diese fundamentale Fragestellung eine Antwort zu suchen, denn sie bildet die Brücke zwischen der unbelebten und der belebten Materie. Alle Organismen bestehen aus Molekülen, die sich über Milliarden von Jahren aus Atomen gebildet haben und immer komplexer geworden sind. Auch wir Menschen sind letztlich ein Produkt solcher chemischen Vorgänge.

Wie erklärt die Chemie die Entstehung des Lebens?

Das chemische Grundprinzip, das zum Leben und Denken geführt hat, ist die Selbstorganisation der Materie, die wir auf dem Gebiet der supramolekularen Chemie erforschen. Allerdings kennen wir die Details bei der Entstehung des Lebens noch bei Weitem nicht.

»Mit Chemie haben wir gute Chancen, Alzheimer zu heilen.«

Den Begriff supramolekulare Chemie haben Sie 1978 eingeführt. Was bedeutet er?

Bildlich gesprochen kann man Atome als Buchstaben interpretieren. Den Molekülen, die von der molekularen Chemie studiert werden, entsprechen dann die Wörter. Die supramolekulare Chemie untersucht, wie die Natur aus diesen Wörtern ganze Sätze bildet, aufgrund welcher Gesetze sich Moleküle zu komplexeren Strukturen zusammenschließen. Wenn wir Krankheiten diagnostizieren und heilen wollen, müssen wir diese Grundprinzipien verste-

hen, da sie auch die Eigenschaften der Biomoleküle kontrollieren.

Sind denn bereits Erfolge für medizinische Anwendungen zu verzeichnen?

Unsere Grundlagenforschung führte unter anderem zum Bau eines Diagnostikapparats, der Krebszellen nachweist und in Kliniken eingesetzt wird. Ursprünglich hatten wir einen Nanokäfig gebaut, den ein im Zentrum sitzendes Metall-Ion zum Leuchten bringt. Später zeigte sich, dass man solche winzigen Käfige chemisch an Antikörper binden kann, Moleküle, die der Organismus zur Abwehr von Fremdstoffen bildet. Mithilfe der Leuchtspur derart veränderter Antikörper lässt sich nun beobachten, ob sie in der Blutbahn Krebszellen oder andere sogenannte Antigene finden.

Wird auch die Nanotechnologie von der supramolekularen Chemie profitieren?

Davon bin ich überzeugt. Die Nanotechnologie versucht vom Großen ins Kleine und bis in die Welt der Milliardstelmeter vorzudringen, um neue Materialien herzustellen oder technische Funktionseinheiten zu miniaturisieren. Die supramolekulare Chemie verfolgt dieselben Ziele mithilfe der Selbstorganisation von Molekülen. Wenn wir verstanden haben, wie sie funktioniert, wird es in Zukunft möglich werden, von der Nanofabrikation kleinster Strukturen zur chemischen Selbstfabrikation überzugehen. Völlig neue Stoffklassen oder Mini-Elemente für die Computerindustrie könnten sich dann selbst aufbauen. Aufgrund derselben Prinzipien, die zum Leben geführt haben.

Was treibt denn Moleküle zur Selbstorganisation an?

Dafür sind physikalische Kräfte verantwortlich, die zwischen Molekülen wirken, wobei man eher von Wechselwirkungen spricht. In den Molekülen steckt Information, die durch solche zwischenmolekularen Wechselwirkungen abgelesen wird. Ein Beispiel ist das DNA-Molekül, in dem die Erbinformationen gespeichert sind. Es besteht aus einer Reihenfolge von chemischen Gruppen, den sogenannten Nukleobasen. Die Information wird durch die Basenpaarung abgelesen. Sie sorgt dafür, dass

sich zwei DNA-Stränge zur berühmten Doppelhelix zusammenlagern können.

Das Ablesen von Information nutzen Sie im Labor?

Ja. Zuerst muss man allerdings wissen, wie sich Moleküle erkennen. Sie tun das aufgrund des Schlüssel-Schloss-Prinzips, das man moderner auch molekulare Erkennung nennt. Wenn ein Virus in eine Zelle eindringt, geschieht das durch Wechselwirkungen zwischen Proteinen des Virus mit Proteinen in der Zellmembran. Die molekulare Erkennung spielt überall in der Biologie eine grundsätzliche Rolle. Jedes Arzneimittel beispielsweise ist eine Substanz, die im Organismus ein Ziel erkennt. Das Schloss ist ein biologisches Molekül in unserem Körper. Man baut ein Schlüsselmolekül, das sich daransetzt und dadurch etwas aktiviert, das nicht mehr funktioniert, oder einen Prozess hemmt, der schädlich ist.

Auf diese Weise könnte man beispielsweise auch die Proteinablagerungen an den Nervenzellen erschweren, die für Alzheimer-Erkrankungen verantwortlich gemacht werden?

Genau. Man bräuchte dazu ein Molekül, das sich selektiv an diese Proteine legt und die Ablagerungen hemmt, die zum Tod der Nervenzellen führen. Auch das ist ein Teil unserer Grundlagenforschung. Ein anderes wichtiges Ziel der supramolekularen Chemie ist der Aufbau von Architekturen durch molekulare Erkennung und Selbstorganisation.

Wer das beherrscht, kann einen Eiffelturm in Miniatur nachbauen?

Im Prinzip ja. Die Natur macht es uns vor. Das Tabakmosaikvirus zum Beispiel, das Pflanzen wie den Tabak, Tomaten oder Chili befällt, besteht aus 2.130 Proteineinheiten, die sich aufgrund von physikalisch-chemischen Wechselwirkungen zusammensetzen und einen zylindrischen Turm bilden. Im Hohlraum dieses Turmes steckt das Genom des Virus, ein RNA-Molekül.

Ähnliches gelingt Ihnen bereits?

Zurzeit nur in bescheidenerem Rahmen. Wir haben Moleküle synthetisiert, die wie Streben aussehen, und andere, die flach wie ein Boden sind. Mischt

man diese Moleküle mit einer Substanz, die beide Bauelemente richtig verknüpft, entstehen innerhalb von Minuten Nanozylinder. Sie haben drei Streben und vier Böden und werden von zwölf Verknüpfungseinheiten wie durch Zement zusammengehalten. Selbst das hätte man sich vor 15 Jahren nicht vorstellen können.

»Wenn wir in Europa meinen, weltweite Entwicklungen ignorieren zu können, irren wir uns.«

Welche Rahmenbedingungen braucht die Forschung, damit solche Ergebnisse zu Produkten führen?

Dafür gibt es kein Rezept. Das Wichtigste ist, dass man die Grundlagenforschung frei arbeiten lässt. Nur so kann Neues entstehen. Die meisten Wissenschaftler sind an den Anwendungen ihrer Forschung interessiert. Hätte man aber in erster Linie immer nur an Anwendungen gedacht, gäbe es heute alle möglichen Formen von Kerzen, jedoch keine Glühbirnen.

Bei der Umsetzung von Wissen in Anwendungen wächst die Konkurrenz weltweit. Können wir in Europa da mithalten?

In den USA gelingt die Umsetzung in Produkte problemloser und auch in Asien leben Wissenschaftler, die sehr gut sind. Ich verstehe mich kulturell vor allem als Europäer, aber auch hier sollte man sich vermehrt darum kümmern, Firmengründungen als Spin-offs der Forschung zu erleichtern. Das braucht natürlich finanzielle Unterstützung. Wenn wir meinen, es ginge in Europa ohne Anpassungen immer so weiter, irren wir uns.



Professor Dr. Joachim Maier

Joachim Maier wurde 1955 in Neunkirchen geboren. Er ist Direktor am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart. Der Chemiker widmet sich insbesondere den elektrochemischen Phänomenen in Festkörpern. Sie spielen eine entscheidende Rolle bei der Umwandlung von chemischer Energie in elektrische Energie und umgekehrt. Wie man dank Nanotechnologie die innere Struktur von Festkörpern verändern und damit auch Batterien, Brennstoffzellen sowie Anwendungen in der Elektronik oder Gesundheitstechnik optimieren kann, erklärt Prof. Maier im Interview.

- 1. Wer oder was hat Sie zur Chemie gebracht?**
Ein sehr guter Chemielehrer.
- 2. Wann oder wo kommen Ihnen die besten Ideen?**
Beim Radfahren.
- 3. In Ihrem Kühlschrank findet sich immer ...?**
... und ausschließlich Chemie (abgesehen von elektromagnetischen und Gravitationsfeldern).
- 4. Welcher Film hat Sie besonders beeindruckt?**
I'm Not There (Todd Haynes) – eine Bob-Dylan-Collage.
- 5. Welches Buch liegt zurzeit auf Ihrem Nachttisch?**
„Adam und Evelyn“ von Ingo Schulze.
- 6. Was wäre für Sie als Wissenschaftler das größte Glück?**
Immer Muße zu haben, über die wichtigen Dinge nachdenken zu können, und immer die Möglichkeit zu haben, die geeigneten Ideen umsetzen zu können.
- 7. Was ist Ihr Lieblingsmolekül?**
H₂O (obiger Chemielehrer hätte wohl Alcoholus Sympathikus angeführt).
- 8. Welche ist die wichtigste ungelöste Frage in der Chemie?**
 - a) Ist die Seele eine Systemeigenschaft der Materie?
 - b) Was sind die optimalen chemischen Bedingungen in Bezug auf die Umwandelbarkeit elektromagnetischer Energie in chemische Energie (und umgekehrt)?
- 9. Und welche Frage der Chemie wird in Zukunft, in den nächsten 50 Jahren, gelöst sein?**
Per definitionem nicht beantwortbar.
- 10. Wo möchten Sie am liebsten leben?**
In Stuttgart – wenn es auf Hawaii läge.
- 11. Würden Sie lieber in die Politik oder ins Show-Business gehen?**
Gottbehüte!
- 12. Was hat Sie in der Chemie am meisten verblüfft?**
Die Fähigkeit der Materie, intelligente Strukturen zu bilden.
- 13. Wem würden Sie einen Forschungs- oder gar Nobelpreis verleihen?**
Carl Wagner, posthum.
- 14. Mit welchem Wissenschaftler würden Sie gern einmal diskutieren beziehungsweise hätten Sie gern einmal diskutiert?**
Ilya Prigogine.
- 15. Wie wird man ein hervorragender Chemiker?**
Begabung, Interesse und Kreativität sind notwendige Voraussetzungen. Der Katalog hinreichender Bedingungen ist individueller Natur.
- 16. Welche Tipps geben Sie Nachwuchswissenschaftlern?**
Sich nicht durch Misserfolge entmutigen lassen!

»Die Elektrochemie ist eine Schlüsseldisziplin für die Schonung unserer Ressourcen.«

Professor Joachim Maier, die Bundesregierung hat gerade ein Förderprogramm aufgestellt, damit Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität wird. Werden Elektromobile bald eine alltagstaugliche Reichweite haben?

Wenn man vergleicht, wie viel Denkleistung bisher in den Verbrennungsmotor und wie wenig bis heute in solch neuere Ideen investiert worden ist, mag das gelingen, wenn auch die Chemie eine Reihe harter Randbedingungen setzt, an denen man nicht vorbeikommt. Fraglich ist, ob uns alle Bequemlichkeiten bleiben, die uns heutige Automobile bieten. Solche Entwicklungen brauchen jedenfalls Zeit. Nicht selten vergehen zehn Jahre, bis sich die Grundlagenforschung in Anwendungen niederschlägt. Für mich ist das Elektroauto an der Stelle nur Pars pro Toto für einen intelligenten und schonenden Umgang mit unseren Ressourcen, und hier spielen Batterie- und Brennstoffzellenforschung in der Tat eine wichtige Rolle.

Welche Technologie setzt sich beim Auto durch, Brennstoffzellen oder Batterien?

Das ist offen. Beide Systeme sind so verschieden nicht. Sie ermöglichen die direkte und effiziente Umwandlung von chemischer in elektrische Energie. Im Falle der Batterie wird die umgewandelte chemische Energie beim Laden durch elektrischen Strom regeneriert, im Falle der Brennstoffzelle ersetzt man einfach den verbrauchten Treibstoff. Das erste Gefährt muss an die Steckdose, das zweite an die Zapfsäule. Der Vorteil des ersten Systems ist die Rückführung ansonsten ungenützter Energie beim Fahren. Der des zweiten ein besseres Verhältnis von Energie zu Masse. Bei der Elektrotraktion steht es zurzeit 1:0 für die Batterie.

Wird das Elektroauto der Zukunft aus Deutschland kommen, wie es sich die Bundesregierung erhofft?

Nur wenn wir uns wirklich anstrengen. Der Nachholbedarf ist groß. Die Formen der Energieumwandlung in Batterien und Brennstoffzellen gehören zum Gebiet der Elektrochemie, auf dem Deutschland immer führend war. Heute besteht vielerorts die Gefahr, den Anschluss zu verlieren. Der Industrie mangelt es an versierten Elektroche-

mikern. Und an den Hochschulen und Forschungsinstituten müssen sich die modernen Ansätze der Elektrochemie etablieren. Die wichtigen Neuerungen sind in den Bereichen zu erwarten, in die die Materialforschung hineinspielt. Sie wird diese Fragen entscheiden.

»Für Energiespeicher brauchen wir eine ganze Palette optimierter Materialien.«

Was müssen die neuen Materialien leisten?

Gesucht werden etwa Stoffe, die sehr viel Energie speichern können, sie rasch umwandeln, langlebig, sicher, umweltverträglich und dann noch günstig sind. Da man diese Ansprüche nicht alle zugleich und mit simplen Materialien erfüllen kann und auch die Anwendungen sehr verschieden sind, brauchen wir eine ganze Palette neuer Stoffe. Denn eine Hochleistungsbatterie im Automobil wird sicherlich aus anderen Komponenten bestehen als eine Batterie für einen Herzschrittmacher.

Wie finden Sie diese Stoffe?

Man kann völlig neue herstellen, aber oft ist es wirkungsvoller, bestehende Materialien zu optimieren, zum Beispiel mithilfe von nanotechnologischen Methoden. Wobei man allerdings zuerst das Innenleben der Festkörper verstehen muss, die man als Komponenten in elektrochemischen Zellen einsetzt. Ein Festkörper ist nicht ein geschlossenes Ganzes, das nur an der Oberfläche chemisch zugänglich ist. Seine Eigenschaften lassen sich ähnlich gut beeinflussen wie die des Wassers durch die Zugabe von Salzen. In Festkörpern spricht man dann von „Fehlstellen“, dank derer man die Materialeigenschaften mit geeigneten Stellschrauben innerhalb einer außerordentlichen Bandbreite verändern kann.

Wie bauen Sie diese Fehlstellen ein?

Durch Zugabe anderer Stoffe, das sogenannte Dotieren, oder aber durch extremes Zerkleinern mittels Nanostrukturierung. Mit solchen Tricks können wir beeinflussen, wie schnell Elektronen oder Ionen in den elektrochemischen Zellen wandern, ja sogar einen elektrischen Isolator in einen Leiter verwandeln und einiges mehr.

»Die Nanotechnologie hat das Potenzial, das Elektroauto auf die Erfolgsspur zu bringen.«

Wird uns die Elektrochemie generell helfen, die Energieproblematik zu meistern?

Elektrochemische Zellen zu betreiben ist sicherlich eleganter, als fossile Treibstoffe zu verbrennen, aber ein Wundermittel ist es nicht, denn die Zellen erzeugen ja die Energie nicht. Unsere Abhängigkeit von Primärenergien können sie demnach im Prinzip nicht mindern, jedoch durch erhöhte Effizienz und Speicherfähigkeit Energie einsparen helfen. Dennoch wird die Elektrochemie für die Zukunft der Energietechnologien so wichtig werden, wie es die Halbleiterphysik für die Elektronik ist. Insgesamt wird unsere Welt über verschiedenste Elektromobile hinaus sehr viele Systeme sehen, in denen Elektrochemie integriert ist.

Bei welchen anderen Anwendungen?

In allen Systemen, deren Stromversorgung mobil sein muss, etwa in Robotersystemen. Aber auch in der Sensorik, was weniger bekannt ist. Hier geht es primär um chemische Information, nicht um chemische Energie. Dennoch helfen solche Sensoren, Energie zu sparen. Ein typischer Sensor ist die Lambdasonde, die im Abgas eines Automobils den Sauerstoffgehalt misst und mithilfe, den Katalysator zu regeln. Die Funktions-

weise solcher Sensoren ist nicht weit von derjenigen der Batterien und Brennstoffzellen entfernt. In einer Batterie trennt man zwei geeignete Stoffe durch ein Membransystem, damit sie nicht sofort chemisch miteinander reagieren können. In der Lambdasonde trennt man – sehr einfach gesprochen – zwei Kammern mit verschiedenem Sauerstoffgehalt, wovon eine das Abgas enthält.

Auf diese Weise könnten Sie auch CO₂-Gehalte messen?

Wir haben hier in Stuttgart schon vor zehn Jahren einen eleganten CO₂-Sensor gebaut, der hervorragend funktioniert. Auch Kohlenmonoxid-Sensoren sind wichtig, sie sorgen etwa in Laborräumen für mehr Sicherheit. Ein weiterer Anwendungsbereich elektrochemischer Zellen sind Filter. Man wandelt das Prinzip einer Batterie leicht ab und benutzt eine Membran, die nicht nur Ionen, sondern auch Elektronen durchlässt. So kann man beispielsweise Sauerstoff filtern oder pumpen. Diese Methode hat Zukunft und ist in der Gesundheitstechnik und überall dort von Bedeutung, wo man reine Gase erzeugen will. Dies sind nur einige populäre Beispiele intelligenter Anwendungen, die die Elektrochemie bietet.

Alles überraschende Anwendungsbeispiele von Grundlagenforschung?

Zum Teil ja. Der Mechanismus des Erkenntnisgewinns funktioniert meist in dieser einen Richtung. Niemand hätte damit gerechnet, dass in der Medizintechnik einmal Röntgenstrahlen so viele Leben retten würden, wie sie es heute tun. Sie mussten zuerst entdeckt und erforscht werden. Mein Bild für den Innovationsprozess ist der Apfelbaum. Die Grundlagenforschung ist im Wurzelwerk angesiedelt. Die begehrten Äpfel sind die tollen Anwendungen. Welcher Weg nun genau durch die Verästelung zu einer bestimmten Neuerung geführt hat, kann man erst im Nachhinein sagen.

Wird das bei der Vergabe von Forschungsgeldern auch so gesehen?

In der Max-Planck-Gesellschaft, in der ich forsche, schon. Ich würde es mir auch für alle anderen Wissenschaftler in Deutschland wünschen. Denn kreative Zeit, die man zum Denken benötigt und die durch die Forschungsbürokratie häufig aufgebraucht wird, ist für Innovationen wichtiger als Programme.



Professor Dr. Klaus Müllen

Klaus Müllen ist Direktor des Forschungsbereichs „Synthetische Chemie“ am Mainzer Max-Planck-Institut für Polymerforschung und Präsident der Gesellschaft Deutscher Chemiker. Der 1947 in Köln geborene Wissenschaftler wurde vielfach ausgezeichnet. Im Interview erläutert er die Chancen der organischen Elektronik. In dieser Disziplin werden neue Molekülstrukturen erzeugt, die bisher nicht für möglich gehaltene physikalische Eigenschaften haben. Damit kann man zum Beispiel Lithium-Batterien effizienter machen oder organische Bausteine für Sensoren, Leuchtdioden oder Solarzellen herstellen.

- 1. Wer oder was hat Sie zur Chemie gebracht?**
 - a) Mein Chemielehrer, Hans-Otto Hammer, ihm sei hier ein Denkmal gesetzt.
 - b) Meine Frau, sonst wäre ich wohl Theologe geworden und stände jetzt vielleicht auf der Kanzel statt im Hörsaal.
- 2. Wann oder wo kommen Ihnen die besten Ideen?**

Beim Diskutieren mit Mitarbeitern. Kaffee und Plätze müssen dabei sein.
- 3. In Ihrem Kühlschrank findet sich immer ...?**

Kölsch. Man sagt, es spüle die Nieren gut durch.
- 4. Welcher Film hat Sie besonders beeindruckt?**

„Willkommen bei den Sch'tis“ von Dany Boon – im Kino will ich Spaß haben, das Leben ist schon ernst genug.
- 5. Welches Buch liegt zurzeit auf Ihrem Nachttisch?**

„Preußische Profile“ von Sebastian Haffner und Wolfgang Venohr sowie „Gott“ von Manfred Lütz. Wenn ich zu müde bin, ein englischsprachiger Krimi, dann wird wenigstens mein Englisch besser.
- 6. Was wäre für Sie als Wissenschaftler das größte Glück?**

Chemie für das Leben.
- 7. Was ist Ihr Lieblingsmolekül?**

Immer das, an dem wir gerade arbeiten.
- 8. Welche ist die wichtigste ungelöste Frage in der Chemie?**

Die effiziente photokatalytische Wasserspaltung. Gegen sie wäre sogar die Photovoltaik weniger bedeutsam.
- 9. Und welche Frage der Chemie wird in Zukunft, in den nächsten 50 Jahren, gelöst sein?**

Wir werden es schaffen, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu überwinden.
- 10. Wo möchten Sie am liebsten leben?**

Mit Blick auf das RheinEnergieStadion.
- 11. Würden Sie lieber in die Politik oder ins Show-Business gehen?**

Fußballcoach wäre besser.
- 12. Was hat Sie in der Chemie am meisten verblüfft?**

Das Geniale des Wassermoleküls. Ohne dieses Molekül wäre Leben nicht möglich: Es kann lösen, transportieren, katalysieren, und das alles bei der richtigen Temperatur. Und – siehe Frage 8 – es ist ein Wasserstoffreservoir.
- 13. Wem würden Sie einen Forschungs- oder gar Nobelpreis verleihen?**

Dr. E. Coli – aber im Ernst: Wer Siechtum durch unheilbare Krankheiten gesehen hat, würde sie gerne durch chemische Forschung besiegt sehen.
- 14. Mit welchem Wissenschaftler würden Sie gern einmal diskutieren beziehungsweise hätten Sie gern einmal diskutiert?**

Mit dem Physiknobelpreisträger Richard Feynman hätte ich gerne seine Prognose „There's Plenty of Room at the Bottom“ diskutiert.
- 15. Wie wird man ein hervorragender Chemiker?**

Durch Kreativität, Urteilskraft, Belastbarkeit und Freude.
- 16. Welche Tipps geben Sie Nachwuchswissenschaftlern?**

Siehe Frage 15.

**»Gegen welt-
weite Konkurrenz
punktet nur
angewandte
Intelligenz.«**

Professor Klaus Müllen, die Wissenschaft produziert immer wieder neue Ideen. Wie gut ist Deutschland bei der Umsetzung solcher Ideen in neue Produkte?

Die Chancenauswertung ist steigerungsfähig. Das gilt auch für uns Grundlagenforscher, denn wir scheuen manchmal den Gedanken an konkrete Anwendungen. Ein Beispiel für den mangelnden Austausch zwischen Forschern und Industrie ist die organische Elektronik, in der Deutschland vor 20 Jahren bestens aufgestellt war. Weil wir damals unsere Kompetenz auf diesem Gebiet nicht schnell genug ausgebaut haben, stoßen wir nun auf eine viel stärkere internationale Konkurrenz.

»Organische Sensoren werden die medizinische Diagnostik revolutionieren.«

Wird das Potenzial der organischen Elektronik in Deutschland heute erkannt?

Ja, denn die Finanzierung ist gut. Vor dem Hintergrund der drohenden Ressourcen- und Energieknappheit sollten wir jedoch in der Forschungsplanung schon jetzt auch an Anwendungen chemischer Systeme denken, die über die Elektronik hinausgehen. Die durch Licht angeregte Wasserspaltung zur Erzeugung von Wasserstoff beispielsweise hat ein enormes Potenzial für zukünftige Energietechnologien. Ich hoffe, dass wir solche Chancen künftig besser nutzen, und plädiere dafür, früh genug und auf breiter Basis das Innovative zu tun.

Welche Chancen bieten organische Moleküle für innovative Anwendungen in der Elektronik?

Die organische Elektronik ist eine wichtige Ergänzung der klassischen Elektronik, die auf anorganische Materialien setzt. Silizium zum Beispiel ist ein toller Halbleiter, aber in kristalliner Form sehr

teuer. Die organischen Bauteile sind billiger, weil wir sie aus Basisstoffen herstellen, die man zum Beispiel aus Erdöl oder Biomasse gewinnt. Sie lassen sich auch großflächig leicht zu dünnen Filmen verarbeiten. Besonders faszinierend ist jedoch, dass wir in der Organik gezielt neue Molekülstrukturen aufbauen können, die bisher nicht für möglich gehaltene physikalische Eigenschaften haben.

Welche Eigenschaften zum Beispiel?

Wir sind in der Lage, die Farbe eines Moleküls zu kontrollieren, also die Wellenlänge des Lichts, das ein Molekül emittiert oder absorbiert. Diese Eigenschaft spielt etwa bei Leuchtdioden und Solarzellen eine Rolle. Zudem können wir die Fähigkeit verbessern, elektrische Ladungen zu erzeugen und vor allem schnell zu transportieren. Dazu modifizieren wir die Moleküle so, dass sie sich in einer übermolekularen Ordnung richtig und nahe genug aneinanderlegen. Je rascher die Ladungen durch den organischen Halbleiter hüpfen, umso schneller lässt sich dann beispielsweise ein organischer Feldeffekttransistor schalten.

Was ist die Aufgabe solcher organischer Transistoren?

Diese sogenannten OFETs regeln den Stromfluss und lassen sich zum Beispiel anstelle der herkömmlichen Strichcodes für intelligente Etiketten verwenden, mit denen die Erfassung und Verwaltung von Waren vereinfacht wird. Ein sehr wichtiges Einsatzgebiet ist auch die Sensorik. Organische Moleküle können einander aufgrund des Wirt-Gast-Prinzips erkennen. Dadurch ermöglicht ein von Erkennungsvorgängen gesteuerter OFET äußerst empfindliche Detektoren, die in der medizinischen Diagnostik oder zum Nachweis von gefährlichen Substanzen hilfreich sind.

Wo liegen die Vorteile der organischen Elektronik für die Photovoltaik?

Eindeutig bei den Kosten, also letztlich im Preis für die Kilowattstunde Strom. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis ist für den Erfolg jeder Technologie entscheidend. Generell eignet sich die organische Elektronik besonders für Produkte, die mobil sein müssen, Solarzellen, die flexibel in Gebäudefassaden

passen sollen, LED-Displays oder großflächige Beleuchtungen. Und nicht zuletzt eignet sie sich wunderbar für die Vakuumbedampfung oder Verfilmung elektronischer Bauteile auf verschiedenen Oberflächen. Das kann elektronisches Papier sein, ein Kleidungsstück mit einer photovoltaisch aktiven Schicht oder ein TV-Schirm, der sich dann zusammenfalten lässt.

Hat die organische Elektronik auch Nachteile?

Durchaus. Organische Solarzellen haben heute lediglich Energieeffizienzen von etwa 5 Prozent, wir müssten aber 10 bis 15 Prozent Effizienz erreichen. Eine andere Schwierigkeit ist die geringe Haltbarkeit organischer Schaltungen. Jede Miniaturisierung von Elektronik schafft zudem das Problem, die beim Betrieb eines Bauteils entstehende Wärme abzuführen. Bei organischen Molekülen ist das besonders kritisch. Wir müssen noch viel forschen, bis die organische Elektronik in Bezug auf diese Kriterien mit den etablierten Methoden mithalten kann. Deshalb ist die Abstimmung wichtig, wo man organische und wo man anorganische Bauteile einsetzen will. Für Leuchtdioden beispielsweise eignet sich das anorganische Silizium nicht, weil es ein miserabler Lichtemitter ist.

»Eines Tages lässt sich Ihr TV-Gerät so leicht falten wie Ihre Bettwäsche.«

Mit welchen Methoden stellen Sie organische Moleküle her?

Wir gehen von kleineren Molekülen als Bausteinen aus, wie zum Beispiel dem Naphthalin, das man aus Mottenkugeln kennt. Diese Bausteine verknüpfen wir zu ketten- oder scheibenförmigen Makromolekülen. Zudem steht uns ein umfangreicher „Werkzeugkasten“ von Reaktionen zur Verfügung,

mit denen wir die Strukturen der Moleküle verändern können. Damit passen wir ihre Eigenschaften an die gewünschten elektronischen Anwendungen an. Der Chemiker muss aber auch einen definierten makroskopischen Zustand seiner Moleküle erzeugen können, beispielsweise die bereits erwähnten dünnen Filme, oder – mithilfe der Selbstorganisation – komplexe supramolekulare Strukturen.

Inwieweit ergänzen sich organische Elektronik und Nanotechnologie?

Die aktiven Komponenten in elektronischen Bauelementen sind Nanoobjekte, egal ob sie aus nanometerkleinen anorganischen Halbleiterteilchen, aus organischen Makromolekülen oder ihren definierten Aggregaten bestehen. Die Physik reklamiert zwar die nanowissenschaftlichen Fragestellungen gerne für sich, doch die Chemie ist nach Größe, Form und Funktion ihrer Objekte die Nanowissenschaft per se. Die Nanowissenschaften sind heute in der fantastischen Lage, einzelne Moleküle im realen Raum verändern und nutzen zu können.

Wird das die aktuellen Probleme der organischen Elektronik lösen?

Auf absehbare Zeit noch nicht. Einzelne organische Moleküle zu „sehen“ und als elementare Bauelemente zu verwenden, wäre quasi die Extremform der Miniaturisierung. Wenn wir jetzt über die Ansteuerung und Veränderung von Molekülen nachdenken, über ihre Reproduzierbarkeit und Stabilität, forschen wir für die Zukunft – nicht zuletzt in Bezug auf die Sensorik und Nanomedizin. Der Weg dahin ist noch weit, aber ehe man Shakespeare übersetzen kann, muss man ja auch zuerst die Vokabeln kennen und die Grammatik verstehen.



Professor Dr. Kornelius Nielsch

Der 1973 in Hamburg geborene Physiker Kornelius Nielsch ist Professor an der Universität Hamburg. Er leitet seit 2008 das Schwerpunktprogramm „Nanostrukturierte Thermoelektrika“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Thermoelektrika sind Materialien, die Wärme in elektrische Energie umwandeln oder umgekehrt mittels elektrischer Energie Wärme transportieren und dadurch zur Kühlung eingesetzt werden können. Im Interview erklärt der auf dem Gebiet der Thermoelektrik jüngste deutsche Professor, wie diese funktioniert und welches Potenzial sie für die Steigerung der Energieeffizienz hat.

1. Wer oder was hat Sie zur Physik gebracht?

Die Begeisterung für technisches Spielzeug: Bauklötze und Baukastensysteme für Kinder, ein bastelfreudiger Vater mit Elektronikwerkstatt und Chemielabor im Keller und eine engagierte Mutter.

2. Wann oder wo kommen Ihnen die besten Ideen?

Auf einer Wanderung oder Radtour, auf einer langen Bahnfahrt oder kurz vor dem Schlafengehen bei einem guten Tee.

3. In Ihrem Kühlschrank findet sich immer ...?

Naturjoghurt und Moltebeermarmelade.

4. Welcher Film hat Sie besonders beeindruckt?

Die Episoden der Serie „Shaun das Schaf“.

5. Welches Buch liegt zurzeit auf Ihrem Nachttisch?

Die Biografie von Charlotte Gray über den Erfinder Alexander Graham Bell: „Reluctant Genius: Alexander Graham Bell and the Passion for Invention“.

6. Was wäre für Sie als Wissenschaftler das größte Glück?

Ein nanostrukturiertes Material zu entwickeln mit außerordentlichen thermoelektrischen Effizienzen, das mit keinerlei ökologischen Risiken behaftet ist und aus Elementen besteht, die in unbegrenztem Umfang auf diesem Planeten vorhanden sind.

7. Was ist Ihr Lieblingsatom?

Aluminium: das Element, aus dem meine nanoskalierten Bienenwabenstrukturen gemacht sind.

8. Welche ist die wichtigste ungelöste Frage in der Nanotechnologie?

Die kostengünstige Umsetzung und Herstellung von nanotechnologischen Produkten und Materialien.

9. Und welche Frage der Nanotechnologie wird in Zukunft, in den nächsten 50 Jahren, gelöst sein?

Signifikante Effizienzsteigerungen bei der Energieerzeugung, der Energiespeicherung und des Energiekonsums werden mit der Nanotechnologie erreicht werden.

10. Wo möchten Sie am liebsten leben?

In einer Großstadt mit sehr gutem Kulturangebot, in nördlichen Breiten am Meer: Stockholm, Boston, Helsinki ...

11. Würden Sie lieber in die Politik oder ins Show-Business gehen?

Die Frage stellt sich eigentlich nicht – beide Talente muss ein erfolgreicher Wissenschaftler zum Teil in sich vereinen, um ein Forscherteam zu leiten, eine Infrastruktur für seine Forschung zu schaffen und seine wissenschaftlichen Erkenntnisse der Allgemeinheit zu vermitteln.

12. Was hat Sie in der Physik am meisten verblüfft?

Die Kontrolle physikalischer Eigenschaften durch Größe und Form des Objektes und nicht durch Optimierung dessen chemischer Zusammensetzung.

13. Wem würden Sie einen Forschungs- oder gar Nobelpreis verleihen?

Mildred S. Dresselhaus (MIT) als Pionierin der Thermoelektrik und der Kohlenstoff-Nanoröhren.

14. Mit welchem Wissenschaftler würden Sie gern einmal diskutieren beziehungsweise hätten Sie gern einmal diskutiert?

Mit Leonardo da Vinci über die Aspekte der modernen Physik.

15. Wie wird man ein hervorragender Physiker?

Durch eine gute Beobachtungsgabe, die Kreativität, neue Fragestellungen extrahieren zu können, und mit einem vielschichtigen Netzwerk nationalen und internationalen Zusammenarbeitens.

16. Welche Tipps geben Sie Nachwuchswissenschaftlern?

Gehen Sie für einen Forschungsaufenthalt ins Ausland, aber behalten Sie enge Kontakte zu Kollegen in Deutschland, wenn Sie in Deutschland eine wissenschaftliche Karriere anstreben. Bringen Sie die besten Anregungen von dort nach Deutschland zurück und entwickeln Sie hier ein eigenständiges Forscherprofil.

**»» Mit der
Abwärme des
Motors werden
wir künftig
Auto fahren.««**

Professor Kornelius Nielsch, angesichts der zunehmenden Verknappung von Rohstoffen ist die Energieeffizienz ein zentrales Thema. Was kann die Thermoelektrik dazu beitragen?

Thermoelektrische Generatoren wandeln Wärme ohne einen mechanischen Zwischenschritt direkt in Strom um. Beim Auto beispielsweise könnte man auf diese Weise die bisher ungenutzte Abwärme des Motors verwenden, um die Bordelektronik und die Klimaanlage zu betreiben oder die Batterie zu laden. Konventionelle Lichtmaschinen beziehen die Energie zur Stromerzeugung letztlich vom Motor, was Leistung kostet. So lassen sich mit einem Thermogenerator der Treibstoffverbrauch und damit auch die CO₂-Emissionen um etwa 5 bis 10 Prozent senken. An diesem Beispiel sieht man gut, dass die Thermoelektrik nicht das Weltenergieproblem lösen wird, im Verbund mit anderen Technologien jedoch wichtige Beiträge zur Effizienzsteigerung leisten kann.

»Theoretisch können wir mit Thermoelektrik den Strombedarf eines Hauses decken.«

Die Thermoelektrik wird demnach Kraftwerke nicht ersetzen?

Sicher nicht. Bei der Stromerzeugung liegt ihr Potenzial maximal im Bereich von Kilowattstunden. Allerdings sind die Anwendungsmöglichkeiten äußerst vielfältig. Sie reichen von autarken Mini-Sensoren oder dem Einsatz im Alltagsbereich, wie zum Beispiel in Gebäuden, bis hin zur Luft- und Raumfahrt. Überall, wo Temperaturunterschiede auftreten, seien es wenige oder viele hundert Grad wie bei Raumsonden, kann man mit Thermogeneratoren emissionsfrei und dezentral Strom erzeugen. Solche Generatoren können klein sein wie ein Steck-

nadelkopf, die Größe eines CD-Stapels haben oder sogar meterlang sein.

Wie wird aus Wärme überhaupt elektrischer Strom?

Das Grundprinzip der Thermoelektrik wurde vor etwa zweihundert Jahren an Metallen entdeckt. Erhitzt man einen Metallstab an einem Ende, baut sich zwischen diesem heißen und dem kühleren Stabende eine elektrische Spannung auf, die zu einem Stromfluss führt.

In jedem Thermogenerator sitzen demzufolge solche Metallstäbe?

Nein. Metalle sind ausgezeichnete elektrische, aber auch sehr gute Wärmeleiter und ein Wärmefluss vermindert die Effizienz der Stromerzeugung. Deshalb verwendet man vorzugsweise sogenannte halbleitende Materialien, die Strom bei gewissen Temperaturen ähnlich gut wie Metalle leiten, nicht aber die Wärme. Solche Materialien herzustellen, ist eine große physikalische Herausforderung. Man versuchte sie mit verschiedenen Methoden zu meistern, den Durchbruch brachte vor etwa zehn Jahren allerdings erst die Nanotechnologie. Mit ihrer Hilfe konnte man die Effizienz von Thermogeneratoren im Labor um das Zwei- bis Dreifache steigern, bei kommerziellen Produkten können in einigen Jahren bald schon 50 Prozent Leistungssteigerung umgesetzt werden.

Daran forschen Sie an der Universität Hamburg?

Ja. Wir betreiben bei uns Grundlagenforschung und bauen neuartige, nanostrukturierte Materialien für Thermogeneratoren. Zum Beispiel entwickeln wir spaghettiartige Stäbchen, die einen Durchmesser von weniger als einem Tausendstel eines Haars haben. Die Miniaturisierung allein reduziert bereits den Wärmefluss. Zudem treten gewisse Quanteneffekte auf. Die Elektronen spüren, dass sie auf kleinstem Raum eingesperrt sind, und verhalten sich anders, als wenn sie sich quasi in einem unendlich großen Raum bewegen können. Unsere Stäbchen lassen wir dann in Waben einer größeren Formstruktur hineinwachsen, die sogenannte Matrix. Die Milliarden Stäbchen in den Waben bilden den Halb-

leiter, die Matrix erfüllt die Aufgabe eines Isolators und dämpft den Teil der Wärme, der physikalisch gesehen durch Schwingungen vom Kristallgitter entsteht.

Könnte man mit einem solchen Generator den Strombedarf eines Hauses decken?

Wenn das Haus eine Zentralheizung hat, ist das durchaus möglich. Man kann den Generator auch mit photovoltaischen Elementen kombinieren und so zusätzlich die Wärme der Sonneneinstrahlung nutzen. In Miniaturform an einem Heizkörper angebracht, könnte er einen Sensor betreiben, der die Zimmertemperatur steuert oder auch Daten für die Heizkostenabrechnung liefert. Solche Sensoren, die ohne Stromleitung auskommen müssen und die über Funk mit einem Zentralrechner verbunden sind, werden an vielen Orten benötigt: an den Außenwänden von Schiffen, Flugzeugen oder zur Überwachung von Brückenträgern und Industrieanlagen. Auch der Unterschied von Körper- und Umgebungstemperatur lässt sich nutzen, etwa für den Betrieb einer Armbanduhr oder eines GPS-Empfängers. Zudem wird an Anwendungen geforscht, die nicht nur in Fahrzeugen für eine effizientere Rohstoffnutzung sorgen.

»Die Nanotechnologie macht die Thermoelektrik erst effizient.«

Welche Rohstoffe kann man mithilfe der Thermoelektrik noch sparen?

In den Niederlanden wird ein tragbarer Holzofen hergestellt, der vor allem in Entwicklungsländern von Bedeutung werden könnte. Ein mit Elektronik sowie Batterie bestückter Thermogenerator betreibt einen Ventilator, der die Luftzufuhr steuert und so die Verbrennung des Holzes optimiert. Das könnte

den enormen Verbrauch dieses Rohstoffes zu Heizzwecken um mehr als 50 Prozent reduzieren – und damit auch die CO₂-Emissionen.

Ist Deutschland auf dem Gebiet der Thermoelektrik im internationalen Vergleich gut aufgestellt?

Das Grundprinzip der Thermoelektrik wurde um 1820 von Thomas Johann Seebeck in Berlin entdeckt und bis vor einigen Jahrzehnten waren wir weltweit führend. Danach verlor die Forschung bei uns an Dynamik, weil Professoren in den Ruhestand gingen und nicht ersetzt wurden. Man sah die sinnvollsten Anwendungen weniger bei der Stromerzeugung als bei der Kühltechnik. Denn auch diese Technik bedient sich des thermoelektrischen Prinzips und war bis vor einigen Jahren das Hauptanwendungsgebiet. Erst die Fortschritte der Nanotechnologie belebten die ursprüngliche Idee der Thermoelektrik neu, allerdings vor allem in den USA.

Wie sehen Sie die Chancen, den Forschungsrückstand gegenüber den USA wettzumachen?

In den USA wird viel Druck auf die Hochschulen ausgeübt, sich möglichen Anwendungen zu widmen. Wir dagegen haben den Vorteil, uns auch auf die Grundlagenforschung konzentrieren zu dürfen. Das sollten wir nutzen, denn die Nachfrage seitens unserer Hochschulen ist groß. Zurzeit kann jedoch aus finanziellen Gründen höchstens ein Drittel aller thermoelektrischen Forschungsanträge berücksichtigt werden. Bedenken Sie, wie hoch die Kosten sind, die aufgrund der aktuellen Preisentwicklung von Treibstoffen anfallen. Nimmt man diese Summe und vergleicht sie mit den momentanen 7,5 Millionen Euro, die in Deutschland für thermoelektrische Projekte bereitgestellt werden, wäre es wohl sinnvoll, diese Forschungsgelder aufzustocken. Deutschland verfügt über viel Expertise in Bezug auf Halbleitermaterialien und Nanotechnologie.

Katalyse

Die Kunst der chemischen Synthese

Die Chemie ist die Wissenschaft der Stoffe und deren Umwandlungen. Damit sich Stoffe umwandeln, braucht man meist einen Vermittler, der die Reaktion anregt und beschleunigt. Solche Vermittler nennt man Katalysatoren. Sie selbst bleiben während der Reaktion unverändert. Geeignete Katalysatoren und Verfahren zu finden, die bei der Herstellung eines neuen Stoffes optimal arbeiten, ist eine der Hauptaufgaben der Chemie. Dabei lernt sie oft von der Natur, denn fast alle Lebensprozesse in den Zellen werden von Biokatalysatoren gesteuert, den sogenannten Enzymen.

Bis zu 90 Prozent aller industriellen Produkte, die mit modernen Verfahren hergestellt werden, basieren auf katalytischen Prozessen. Beschleunigte Stoffumwandlungen machen aber aus Rohstoffen nicht nur nützliche Werkstoffe, Farben, Kunststoffe oder Arzneimittel. Katalyse ist eine Schlüsseltechnologie geworden, die heute in vielen Forschungsbereichen von großer Bedeutung ist. Sie ist notwendig, um aus Biomasse neue Rohstoffe zu gewinnen. Und nur mit Katalyse wird man es schaffen, die konventionellen Energiesysteme effizienter und umweltschonender zu gestalten sowie neue Energiequellen zu erschließen.

Experten:



Prof. Dr. Matthias Beller,
Leibniz-Preisträger



Prof. Dr. Bernhard
Rieger, Philip-Morris-
Preisträger



Prof. Dr. Ferdi Schüth,
Leibniz-Preisträger



Professor Dr. Matthias Beller

Der Chemiker Matthias Beller, geboren 1962 in Gudensberg, lehrt als Professor an der Universität in Rostock und leitet dort das Leibniz-Institut für Katalyse. Er gehört zu den führenden Katalyse-Experten Deutschlands. Katalytische Stoffe spielen bei vielen chemischen Synthesen eine zentrale Rolle, weil sie Reaktionen beschleunigen oder überhaupt erst möglich machen. Im Interview erklärt der Leibniz-Preisträger die Bedeutung der Katalyse für die Lebensprozesse in Zellen und für Produktionsverfahren der chemischen Industrie. Seine Vision ist, künftig mithilfe der Katalyse aus Wasser Energie zu gewinnen.

- 1. Wer oder was hat Sie zur Chemie gebracht?**
Mein Chemie- und Biologielehrer in der Oberstufe. Dazu kam die Unterstützung durch meine Eltern.
- 2. Wann oder wo kommen Ihnen die besten Ideen?**
Die meisten Ideen kommen mir unterwegs auf Reisen, wenn einen die Tagesroutine nicht gefangen hält. Ob es allerdings die besten sind, kann ich nicht beurteilen.
- 3. In Ihrem Kühlschrank findet sich immer ...?**
Essen und Trinken für eine vierköpfige Familie und etwas Süßes.
- 4. Welcher Film hat Sie besonders beeindruckt?**
Der Herr der Ringe I–III.
- 5. Welches Buch liegt zurzeit auf Ihrem Nachttisch?**
„Der goldene Kompass“ von Philip Pullman.
- 6. Was wäre für Sie als Wissenschaftler das größte Glück?**
Dazu beizutragen, etwas wirklich Nützliches für andere Menschen zu entwickeln.
- 7. Was ist Ihr Lieblingsmolekül?**
Eigentlich gibt es für mich nicht das „eine“ Lieblingsmolekül. Es gibt so viele Moleküle, die für uns Menschen wichtig sind und ohne die es Leben nicht gäbe. Wenn ich trotzdem auswählen muss, dann nenne ich Wasser (H_2O) und Butyl-di-1-adamantylphosphin. Wasser ist auf der einen Seite so einfach aufgebaut – nur drei Atome, verknüpft – und doch sind seine makroskopische Struktur und seine Eigenschaften so unglaublich vielfältig. Das zweite Molekül ist ein von uns entwickelter Ligand, der nicht nur von Forschern genutzt wird, sondern der auch in industriellen Prozessen für die Herstellung von Arzneimitteln eingesetzt wird.
- 8. Welche ist die wichtigste ungelöste Frage in der Chemie?**
Die effiziente Spaltung von Wasser ohne Bildung von zusätzlichem Kohlendioxid.
- 9. Und welche Frage der Chemie wird in Zukunft, in den nächsten 50 Jahren, gelöst sein?**
Die Chemie als Wissenschaft und Industrie wird an der Lösung der zentralen Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte entscheidenden Anteil haben. Mithilfe der Chemie wird es neue Arzneimittel für noch nicht vernünftig therapierbare Krankheiten geben (zum Beispiel Alzheimer und Parkinson), neue Funktionsmaterialien werden die Lebensqua-
- lität verbessern und nicht zuletzt wird die Chemie zur Lösung unseres zunehmenden Energiehungers beitragen.
- 10. Wo möchten Sie am liebsten leben?**
In Deutschland; im Sommer an der See, im Winter in den Bergen.
- 11. Würden Sie lieber in die Politik oder ins Show-Business gehen?**
Nein, dafür bin ich nicht der Richtige. Aber ich bin überzeugt, dass es für die Gesellschaft von Vorteil wäre, wenn es in der Politik wissenschaftlicher zuginge.
- 12. Was hat Sie in der Chemie am meisten verblüfft?**
Die Vielfältigkeit und die Möglichkeiten der organischen Chemie.
- 13. Wem würden Sie einen Forschungs- oder gar Nobelpreis verleihen?**
Carl Djerassi für die Entwicklung der Kontrazeptiva.
- 14. Mit welchem Wissenschaftler würden Sie gern einmal diskutieren beziehungsweise hätten Sie gern einmal diskutiert?**
Mit Leonardo da Vinci und Gottfried Wilhelm Leibniz, weil sie beide „Universalgenies“ waren und weil sie mit ihren Ideen und ihrem Verständnis der jeweiligen Zeit weit voraus waren. Bei Leibniz würde mich unter anderem interessieren, wie er als Namensgeber zur heutigen Leibniz-Gemeinschaft stünde, die eine der größten deutschen Wissenschaftsorganisationen ist.
- 15. Was braucht man, um ein hervorragender Chemiker zu werden?**
Erstens Begeisterung, zweitens Fleiß, drittens Talent und Kreativität. Dazu kommt eine Prise Glück und gute Förderer.
- 16. Welche Tipps geben Sie Nachwuchskemikern?**
Die Auswahl des eigenen Forschungsthemas mit genug Sorgfalt zu planen. Viel zu häufig werden bereits gelöste Probleme bearbeitet oder Lösungen für nicht existente Probleme gefunden.

**»»Die Spaltung
von Wasser
könnte unser
Energieproblem
lösen.««**

Professor Matthias Beller, das Energieproblem auf unserem Planeten ist eines der großen Themen der Zeit. Kennen Sie als Chemiker die Lösung?

Unsere Traumreaktion ist die Spaltung von Wasser in seine atomaren Bausteine Wasserstoff und Sauerstoff. Aus dem Wasserstoff ließe sich dann Energie gewinnen. Das wäre die sauberste Lösung des Energieproblems. Damit diese Idee industriell sinnvoll umgesetzt werden kann, braucht es jedoch geeignete Katalysatoren. Nach solchen Substanzen suchen wir.

Bei Katalysatoren denken wir zuerst an die Autoabgasfilter in Fahrzeugen. Was versteht man in der Chemie allgemein unter dem Begriff Katalyse?

Katalyse ist die Wissenschaft von der Beschleunigung von Stoffumwandlungen. Zwischen chemischen Substanzen, die miteinander reagieren sollen, vermittelt ein Katalysator wie ein Tanzlehrer, der Paare zusammenbringt. Ohne Katalysatoren würden die meisten chemischen Reaktionen nicht oder nur sehr zögerlich ablaufen. Dabei wird der Katalysator als Vermittler selbst kaum verbraucht. Im Idealfall reicht ein Molekül aus, um Millionen von gewünschten Produktmolekülen zu katalysieren. Deshalb muss ein Autoabgaskatalysator, der giftige Gase in saubere Luft umwandelt, auch erst nach über 100.000 Fahrkilometern ersetzt werden.

In Ihrer Traumreaktion würde mithilfe von Energie und Katalysatoren Wasser gespalten, um aus den Komponenten wieder elektrische Energie zu erzeugen. Das klingt wie ein Nullsummenspiel.

Nicht, wenn wir das Wasser mittels Sonnenlicht umwandeln, das wir gratis bekommen. Auch Pflanzen nutzen die Sonnenstrahlung, wenn sie in ihrem Blattgrün Energie gewinnen, die sie für ihr Wachstum benötigen. Analog versuchen wir im Labor, Wasser photochemisch zu spalten, zum Beispiel mithilfe von Titandioxid-Katalysatoren. Aber auch an anderen Methoden zur Wasserstoffgewinnung, etwa aus nachwachsenden Rohstoffen, wird gearbeitet.

Wie lässt sich aus Wasserstoff elektrische Energie erzeugen?

Die Grundreaktion kennen wir aus dem Schulunterricht. Hält man ein brennendes Streichholz in ein Gemisch von Wasserstoff und Sauerstoff, entsteht explosionsartig Wasser. Damit die bei dieser Reaktion frei werdende Energie kontrolliert in elektrischen Strom umgewandelt werden kann, setzt man am einfachsten sogenannte Brennstoffzellen und wiederum Katalysatoren ein.

»Katalysatoren machen chemische Reaktionen erst richtig effizient.«

Noch ist Ihre Traumreaktion zur Spaltung von Wasser eine Vision der Grundlagenforschung. Wie wichtig sind katalytische Verfahren in unserem Alltag?

Da Katalysatoren Vermittler sind, sehen wir sie in der Regel nicht. Aber alle Grundstoffe, die wir zur Herstellung von Produkten benötigen, werden von der Natur in Form nachwachsender Rohstoffe oder fossiler Ressourcen bereitgestellt. Erst nach Stoffumwandlungen werden daraus Dinge wie Werkstoffe, Farben, Kunststoffe, Textilien oder Arzneimittel. Deshalb ist Katalyse eine Schlüsseltechnologie, die über die Chemie hinaus auch in Forschungsgebieten wie der Nanotechnologie oder Biologie eine wichtige Rolle spielt.

Macht es einen Unterschied, ob der Mensch oder die Natur Katalyse einsetzt?

Grundsätzlich nicht. Das zu erkennen war eine bedeutende Leistung der Wissenschaft. Fast alle Lebensprozesse werden von sogenannten Biokatalysatoren gesteuert. In uns Menschen laufen permanent katalytische Vorgänge ab, bei denen zum Beispiel Nahrung mithilfe von Enzymen, den Katalysatoren der Natur, zerlegt wird, um Energie bereit-

zustellen, oder bei der Freisetzung von Botenstoffen, die in unserem Körper eine Wirkung auslösen. Der Chemiker allerdings kann darüber hinaus Katalysatoren gezielt synthetisieren, damit sie Reaktionen nicht nur beschleunigen, sondern verbessern und selektiver gestalten.

Wo geschieht das?

Jedes Waschmittel enthält Enzyme, die helfen, Schmutz katalytisch zu zersetzen. Auch bei der Herstellung von Medikamenten leisten Biokatalysatoren heute und erst recht in Zukunft einen wesentlichen Beitrag. Ebenso werden für die Produktion von Dünger spezielle Vermittler gebraucht. Die Natur aktiviert in Pflanzen Stickstoff bei Raumtemperatur mithilfe sogenannter Knöllchenbakterien. Chemiker haben heterogene Katalysatoren entwickelt, die bei einigen hundert Grad arbeiten. Es ist sinnvoll, noch aktivere Systeme zu finden, die Stickstoff fixieren und umwandeln können, denn chemische Düngung werden wir brauchen, um die wachsende Weltbevölkerung zu ernähren.

Welche anderen Chancen bieten sich uns durch die Katalysatorforschung?

Die petrochemischen Grundstoffe gehen zur Neige. Deshalb müssen wir auf nachwachsende Rohstoffe setzen. Wir brauchen Katalysatoren, um in Zukunft Biomasse als neuen Grundstoff einsetzen zu können. Ein Beispiel für diese Entwicklung ist die Umwandlung von Biomasse in Ethanol, das bereits in großen Mengen Kraftstoffen zugesetzt wird.

Ist es denn vertretbar, dazu eigens Biomasse anzubauen, wenn in Teilen der Welt Nahrungsmittel fehlen?

Die Konkurrenz zum Nahrungsmittelanbau kann man minimieren, indem auch die Abfälle von pflanzlicher Produktion als Biomasse nutzbar gemacht werden. In Bezug auf die Rapspflanze etwa heißt das, nicht nur deren Körner, sondern die gesamte Pflanzensubstanz umzuwandeln. Daran arbeitet die Wissenschaft mit viel Anstrengung.

Forschen Sie am Leibniz-Institut für Katalyse in Rostock auf all den erwähnten Gebieten?

Auf vielen. In der angewandten Katalysatorforschung sind wir das größte öffentliche Forschungsinstitut Europas. Visionäre Grundlagenforschung ist allerdings nicht unsere einzige Aufgabe. Unsere Philosophie lautet, öffentliche Fördermittel in Wissen und dieses Wissen wieder in Geld und Arbeitsplätze zu verwandeln. Deshalb konzentrieren wir uns besonders auf Projekte, die zusammen mit der Industrie kurz- oder mittelfristig realisierbar sind.

»Auch die Prozesse unseres Lebens werden von Katalysatoren gesteuert.«

Erfindungen und Patente haben in Deutschland noch lange nicht zur Folge, dass auch die Anwendungen hier realisiert werden. Was muss sich ändern?

Trotz intensiver Kommunikation gibt es in Deutschland noch immer viel Bedarf an verbesserter Zusammenarbeit zwischen Industrie und Universitäten. Zudem müssen Staat und Universitäten sowohl Grundlagenforschung als auch Projekte konsequent fördern, die zu nützlichen Anwendungen führen können. Es hat keinen Sinn, wissenschaftlichen Moden zu erliegen und gewisse Bereiche nur kurzfristig mit viel Geld auszustatten. Grundlagenforschung liefert der Anwendung wichtige Impulse, und die technische Realisierung von Neuem erfordert Zeit und Kontinuität.



Professor Dr. Bernhard Rieger

Der Chemiker Bernhard Rieger wurde 1959 in Augsburg geboren und ist seit Ende 2006 Professor für makromolekulare Chemie an der Technischen Universität München. Er leitet dort das Institut für Siliciumchemie, in dem Werkstoffe mit bisher nicht kombinierbaren Eigenschaften entwickelt werden. Prof. Bernhard Rieger forscht intensiv auch auf dem Gebiet der sogenannten CO₂-Chemie. Im Interview erläutert der Philip-Morris-Preisträger neue und überraschende Möglichkeiten, das in Verruf geratene Kohlendioxid-Molekül sinnvoll wieder in den Stoffkreislauf zurückzuführen.

- 1. Wer oder was hat Sie zur Chemie gebracht?**
Als Junge habe ich alles Erdenkliche zusammengemischt. Um das in „geordnete Bahnen“ zu lenken, hat mir meine Mutter zum 7. Geburtstag einen Chemiebaukasten geschenkt.
- 2. Wann oder wo kommen Ihnen die besten Ideen?**
Im Flugzeug, in der Bahn und im Gespräch mit meinen Mitarbeitern.
- 3. In Ihrem Kühlschrank findet sich immer ...?**
... zu wenig.
- 4. Welcher Film hat Sie besonders beeindruckt?**
„2001 – Odyssee im Weltraum“ von Stanley Kubrick.
- 5. Welches Buch liegt zurzeit auf Ihrem Nachttisch?**
Ich lese Bücher immer parallel: „Reisen ans Ende der Welt“ von Ibn Battuta und „Beim Häuten der Zwiebel“ von Günter Grass.
- 6. Was wäre für Sie als Wissenschaftler das größte Glück?**
Eine eigene, grundlegende Entdeckung bis zur Anwendungsreife zu begleiten.
- 7. Was ist Ihr Lieblingsmolekül?**
Die einfachsten: Wasserstoff, Methan, Kohlendioxid, Ethylen und Propylen, und die größten: Makromoleküle.
- 8. Welche ist die wichtigste ungelöste Frage in der Chemie?**
Effiziente, katalytische Rückführungen von CO₂ in den Stoffkreislauf sowie die photokatalytische Spaltung von Wasser in die Elemente.
- 9. Und welche Frage der Chemie wird in Zukunft, in den nächsten 50 Jahren, gelöst sein?**
Das 20. Jahrhundert ging als „Zeitalter der Kunststoffe“ in die Geschichte ein. Im 21. Jahrhundert hat fast jede Anwendung des täglichen Lebens mit Kunststoffen zu tun – und das überall auf der Welt. Alle technischen Werkstoffe sind bisher ölbasiert. Öl wird noch lange als Grundstoff der Chemie zur Verfügung stehen, allerdings werden in den nächsten 50 Jahren neue Strategien zu erarbeiten sein, um den Erhalt und die Weiterentwicklung der Kunststoffe langfristig zu sichern; das hat auch mit neuen Rohstoffquellen zu tun und ist damit eng mit Frage 8 verbunden.
- 10. Wo möchten Sie am liebsten leben?**
Im Europa unserer Tage, zwischen Frankfurt und Mailand.
- 11. Würden Sie lieber in die Politik oder ins Show-Business gehen?**
Ich weiß nicht, was ich als Naturwissenschaftler und Hochschullehrer dort Wesentliches beitragen könnte; nein, auf keinen Fall.
- 12. Was hat Sie in der Chemie am meisten verblüfft?**
Wenn ich mit meinen Mitarbeitern neue Konzepte am Schreibtisch entwickle, sind die im Labor umsetzbar: Katalysatoren lassen sich kristallisieren, neue Materialien sogar anfassen. Chemie gehört für mich zu den wenigen Wissenschaften, in denen sich Ideen materialisieren lassen – das hat einen deutlichen Bezug zur Kunst.
- 13. Wem würden Sie einen Forschungs- oder gar Nobelpreis verleihen?**
Einzelpersonlichkeiten oder Teams, die die Themenkomplexe unter den Fragen 8 und 9 lösen.
- 14. Mit welchem Wissenschaftler würden Sie gern einmal diskutieren beziehungsweise hätten Sie gern einmal diskutiert?**
Ich würde gerne zurückreisen und die Geschichte des Periodensystems nachvollziehen, also mit Forschern wie Priestley, Lavoisier, Döbereiner, Mendelejew und Lothar Meyer reden. Ich halte die Aufstellung des periodischen Systems für eine der großartigsten intellektuellen Leistungen, die zudem in einer Art früher „transeuropäischer Zusammenarbeit“ so gut gelungen ist, dass „fehlende Elemente“ vorhergesagt und dann auch gefunden wurden. Mich interessiert die Forschungskultur dahinter und ob wir heute nah dran oder weit entfernt sind.
- 15. Was braucht man, um ein hervorragender Chemiker zu werden?**
Genügend Wissen in der Chemie, im eigenen Fachgebiet, aber besonders über den Tellerrand hinaus, Kritikfähigkeit, Durchhaltevermögen und leuchtende Augen.
- 16. Welche Tipps geben Sie Nachwuchskemikern?**
In meinen Augen macht Chemie nur Spaß, wenn es mit dem Experiment verbunden wird. Ich empfehle daher das Experimentieren, das „Selberausprobieren“, so früh wie möglich. Im Studium gilt es, herauszufinden, ob man mit „Chemie“ sein Fach gefunden hat und bereit ist, den harten Anforderungen standzuhalten. Wenn man Freude daran hat, entwickeln sich die Eigenschaften unter Frage 15 fast von selbst.

»» Mit CO₂ bekommen wir einen Rohstoff, den wir nicht mal ausgraben müssen.««

Professor Bernhard Rieger, das früher kaum beachtete Kohlendioxid (CO₂) gilt heute aufgrund der Klimadiskussion vor allem als gefährlicher Schadstoff. Hat dieses Molekül seinen schlechten Ruf zu Recht?

Nein, Kohlendioxid selber ist weder gut noch böse. Selbstverständlich müssen wir seinen Einfluss auf die Erderwärmung genauestens studieren und die von uns Menschen verursachten Emissionen minimieren. Aber die teils heftigen Emotionen rund um das CO₂ verstellen den Blick auf neue Möglichkeiten, Kohlendioxid produktiv in den Stoffkreislauf zurückzuführen. CO₂ ist nicht nur ein natürlicher und unabdingbarer Bestandteil unserer Atmungs- und Nahrungskette. Es kann auch ein wertvoller Baustein für die Herstellung neuer Wirk- und Werkstoffe werden.

Obwohl CO₂ das stabile Endprodukt von Verbrennungsprozessen ist und man viel Energie aufwenden muss, damit es mit anderen Stoffen reagiert?

Die Gesetze der Thermodynamik können wir nicht überlisten. Aber die belebte Natur hat über Jahrtausende Lösungen gefunden, mit Molekülen wie CO₂ zu arbeiten. Davon können wir lernen. Die grünen Pflanzen beispielsweise machen mithilfe von Sonnenlicht und Chlorophyll aus dem stabilen Kohlendioxid und dem ebenso stabilen Wasser Kohlenhydrate. Dabei wird sogar Sauerstoff frei, den wir zum Atmen brauchen.

»CO₂ ist weder gut noch böse, sondern ein wertvoller Baustein für neue Wirk- und Werkstoffe.«

Die Chemie versucht also, diese Photosynthese zu imitieren?

Ja, daran wird weltweit gearbeitet. Zuerst muss man allerdings die komplizierten Mechanismen verstehen und dazu brauchen wir noch viel Grundlagenforschung. Das Chlorophyll ist ein äußerst effizientes Lichtsammelsystem, dessen Struktur man lange nicht bestimmen konnte. In der Chemie sind aber Photokatalysatoren entwickelt worden, die CO₂ mithilfe von Licht in andere Stoffe als Kohlenhydrate umwandeln. Ein Beispiel ist die Reaktion von CO₂ und Wasser zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff, ein Gemisch, das man als Synthesegas bezeichnet. Wenn solche Systeme erfolgreich werden, hätten wir eine neue Quelle für dieses Synthesegas. Daraus lässt sich zum Beispiel Methanol gewinnen, das wiederum für weit mehr als nur zur Treibstoffproduktion eingesetzt werden kann. Auf diesem Gebiet zeichnet sich eine hochinteressante Methanol-Folgechemie ab.

An welchen Anwendungen von CO₂ arbeiten Sie an der TU München?

An meinem Lehrstuhl für makromolekulare Chemie in Garching verfolgen wir den Ansatz, die Energie für die CO₂-Umsetzung durch sogenannte Epoxide einzubringen. Das sind kleine, aber hochenergetische, ringförmige Moleküle. Sie helfen uns, CO₂ von seinem niedrigen energetischen Niveau zu holen, wobei die Reaktionsbeschleunigung durch maßgeschneiderte Katalysatoren erfolgt. Mischt man zum Beispiel den Katalysator und das Epoxid Propylenoxid mit CO₂, entsteht der interessante Kunststoff Polypropylencarbonat, der zu je 50 Prozent aus CO₂ und Sauerstoff besteht. Wir forschen gerade an neuen Katalysatoren, die uns nicht nur CO₂ als Baustein verfügbar machen, sondern die es uns erlauben, diesen Kunststoff so zu gestalten, dass er sehr transparent ist und sich außer für Verpackungen für eine Reihe von Hightech-Anwendungen eignet, bei denen hohe Schlagzähigkeit gefragt ist.

Kann man diesen Kunststoff bereits kaufen?

Erste kommerzielle Angebote gibt es tatsächlich. Ich bin gespannt, wie schnell sich der Markt entwickelt. Das Schöne an solchen Synthesen ist, dass

dabei nicht wieder ein einfaches Molekül wie das Kohlendioxid entsteht, sondern ein wertvoller makromolekularer Werkstoff, ein Polymer.

»Wir brauchen eine CO₂-Chemie, die wertvolle Produkte ermöglicht.«

Und damit lohnt sich der Energieaufwand, den die Rückführung des trägen CO₂ in den Stoffkreislauf erfordert?

Genau. Die Natur muss bei ihren Synthesen nicht unbedingt effizient arbeiten, weil sie viele kleine chemische Reaktoren in Form von einzelnen Zellen einsetzen kann. Wir Menschen dagegen brauchen aus ökologischen und ökonomischen Gründen große Reaktoren. Deshalb müssen wir eine CO₂-Chemie anstreben, die besonders wertvolle Produkte ermöglicht. Allerdings kann niemand in die Zukunft schauen. Warum sollte es uns nicht gelingen, einmal Photokatalysatoren zu entwickeln, die uns mithilfe von Sonnenenergie aus dem C₁-Baustein Kohlendioxid Polymere herstellen? Und neben der Synthese von Makromolekülen kann auch die Synthese kleiner Moleküle an Bedeutung gewinnen, die als neue Ausgangsstoffe für die chemische Industrie dienen. Welche chemischen Reaktionen wir angehen können, welche Katalysatoren wir entwickeln und welche Moleküle wir zusammenbringen, ist vielfältiger zu sehen, als man es zurzeit tut. Bedeutende technische Entwicklungen waren immer eine Kombination aus einer revolutionären Idee und deren Weiterentwicklung.

Für die Anwendungen Ihrer Entwicklungen brauchen Sie hochreines Kohlendioxid. Woher beziehen Sie das?

Zum Beispiel fällt bei der Energiegewinnung oder bei industriellen Prozessen CO₂ an, das nicht

mehr in die Atmosphäre geblasen werden soll, sondern abgetrennt werden muss. Es wird also sehr viel CO₂ in reiner Form vorhanden sein. Anstatt es irgendwo zu lagern, kann man auch versuchen, daraus etwas Sinnvolles zu machen. Deshalb ist das öffentliche Interesse an neuen Ansätzen, das CO₂ zu nutzen, groß. Und auch in der Wissenschaft herrscht auf diesem Gebiet Aufbruchstimmung.

Was geschieht mit dem CO₂, das bereits in zu großer Konzentration in der Atmosphäre ist?

Hier darf man sich keinen falschen Hoffnungen hingeben. Die Atmosphäre enthält etwa 800 Milliarden Tonnen Kohlenstoff, das meiste in Form von CO₂. Hinzu kommen pro Jahr Milliarden Tonnen vom Menschen erzeugtes Kohlendioxid. Von dieser Zusatzmenge wird heute pro Jahr weniger als ein Tausendstel industriell eingesetzt, zum Beispiel für die Produktion von Salicylsäure für Schmerzmittel, Harnstoff oder Ameisensäure, aber auch zur Entfernung von Coffein aus Kaffeebohnen oder zur Anreicherung von Mineralwasser. Dieser noch geringe Anteil zeigt, wie groß Chancen für Innovationen sind.

Wie müssen die Rahmenbedingungen in Deutschland sein, damit Ihre Visionen umgesetzt werden können?

Um international konkurrenzfähig zu bleiben, reichen uns kluge Köpfe und gute Laborausstattung allein jedenfalls nicht. Wir brauchen auch genügend finanzielle Mittel für die Grundlagenforschung und weniger bürokratischen Aufwand, damit neue Verfahren in Zusammenarbeit mit der Industrie schnell genug zu Anwendungen führen. Diese Bürokratie hat in den letzten 10 Jahren drastisch zugenommen und beansprucht einen immer größeren Teil meiner Arbeitszeit. Leider führt der Mehraufwand nicht zu einem „Mehr“ an Forschungsleistung. Das muss man nüchtern feststellen. Insgesamt bin ich aber zuversichtlich: Maßgebliche Beiträge zur Lösung des CO₂-Themas werden von der Chemie kommen und Deutschland ist seit Langem bei naturwissenschaftlichen Entwicklungen vorne mit dabei.



Professor Dr. Ferdi Schüth

Ferdi Schüth, geboren 1960 im heutigen Warstein, ist Chemiker und Direktor am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr. Er wurde unter anderem mit dem Leibniz-Preis ausgezeichnet und ist ein viel gefragter Experte für katalytische Verfahren. In seinem Interview spricht Prof. Schüth über die zentrale Rolle der Chemie für die Sicherung unserer künftigen Energieversorgung. Neue Katalysatoren braucht man beispielsweise, um Wasserstoff zu gewinnen, zu speichern und in Brennstoffzellen in Strom umzuwandeln. Auch eine neue Generation von Solarzellen aus organischen Materialien wird den Durchbruch nur mithilfe der Chemie schaffen.

1. Wer oder was hat Sie zur Chemie gebracht?

Als ich zehn Jahre alt war, habe ich mit einem Klassenkameraden abgebrannte Feuerwerkskörper gesammelt und wieder mit selbst gemischtem Pulvern gefüllt. Die Raketen sind nie geflogen, aber die Faszination ist geblieben.

2. Wann oder wo kommen Ihnen die besten Ideen?

In Situationen, in denen ich nicht angestrengt an einer Sache arbeite, sondern die Gedanken wandern lassen kann. Dann ergeben sich manchmal ganz unerwartete Verknüpfungen, die neue Perspektiven eröffnen. Das kann fast überall passieren.

3. In Ihrem Kühlschrank findet sich immer ...?

Diverse Käsesorten, mein Lieblingsbrotbelag.

4. Welcher Film hat Sie besonders beeindruckt?

Wenn ich mir Filme anschau, dann in der Regel zur Unterhaltung. Diese Filme beeindruckt mich meist nicht. Ich habe aber Lieblingsfilme, zum Beispiel „Die Reifeprüfung“ von Mike Nichols und „The Big Easy“ von Jim McBride.

5. Welches Buch liegt zurzeit auf Ihrem Nachttisch?

Meist liegen dort so viele Bücher, dass meine Frau mich ständig auffordert, sie wegzuräumen, so auch zurzeit.

6. Was wäre für Sie als Wissenschaftler das größte Glück?

Eine effiziente Methode zur photochemischen Wasserspaltung zu entdecken. Das wäre ein Durchbruch bei der Lösung des Energieproblems.

7. Was ist Ihr Lieblingsmolekül?

C_{60} , die hohe Symmetrie fasziniert mich. Außerdem kann man die Struktur auch einem Laien so schön einfach beschreiben, es ist die des klassischen Fußballs aus Fünfecken und Sechsecken.

8. Welche ist die wichtigste ungelöste Frage in der Chemie?

Die Vorausberechnung der Struktur eines geeigneten (oder sogar des besten) Katalysators für eine beliebige Reaktion und die Berechnung eines praktikablen Synthesewegs dieses Katalysators.

9. Und welche Frage der Chemie wird in Zukunft, in den nächsten 50 Jahren, gelöst sein?

Die Nachahmung der biologischen Stickstofffixierung.

10. Wo möchten Sie am liebsten leben?

Hier und jetzt.

11. Würden Sie lieber in die Politik oder ins Show-Business gehen?

Ins Show-Business. Die Politik ist zwar wichtiger, aber die Vorstellung, im Show-Business Tausende oder gar Hunderttausende Menschen zu begeistern, finde ich faszinierender.

12. Was hat Sie in der Chemie am meisten verblüfft?

Verblüffen kann einen nur etwas, dessen Entwicklung man selbst miterlebt hat, also kann dies für mich nicht zu lange zurückliegen. Es war die Möglichkeit, Strukturen im Größenbereich von wenigen Nanometern durch eine Art Gussprozess formtreu abzubilden, entdeckt Ende der 1990er-Jahre. Hierzu wurde ein poröses Kieselgel mit Kohlenstoff (erhalten aus einer simplen Zuckerlösung) gefüllt, dann das Kieselgel aufgelöst, worauf der Kohlenstoff als Abbild des Porensystems erhalten wurde. Zuerst habe ich nicht geglaubt, dass dies möglich ist – die Reproduktion der Originalarbeit durch einen meiner Mitarbeiter hat mich eines Besseren belehrt.

13. Wem würden Sie einen Forschungs- oder gar Nobelpreis verleihen?

Einen lebenden Kollegen oder eine Kollegin nenne ich hier nicht, sonst wären alle nicht genannten unzufrieden. Ich glaube aber, dass Barrer, Milton und Breck, die Pioniere der Zeolithforschung, den Nobelpreis zu Unrecht nicht bekommen haben. Ihre Entdeckungen sind die Grundlage der modernen Raffineriekatalyse. Der ökonomische und ökologische Wert ihrer Arbeit – durch die Zeolithkatalyse werden unsere knappen Rohölvorräte viel besser genutzt als vorher – kann kaum überschätzt werden.

14. Mit welchem Wissenschaftler würden Sie gern einmal diskutieren beziehungsweise hätten Sie gern einmal diskutiert?

Mit Leonardo da Vinci – den viele eher als Künstler denn als Wissenschaftler wahrnehmen. Die Breite seiner Interessen und seine genialen Ideen in so vielen Bereichen sind absolut faszinierend.

15. Was braucht man, um ein hervorragender Chemiker zu werden?

Kreativität, Fleiß, Frustrationstoleranz.

16. Welche Tipps geben Sie Nachwuchskemikern?

Ihren eigenen Ideen und Faszinationen zu folgen, ohne strategische Überlegungen anzustellen. Nur Dinge, denen man mit Freude und genuinem Interesse nachgeht, werden langfristig erfolgreich sein.

**»Nur mit der
Chemie werden
wir neue
Energiequellen
erschließen
können.«**

Professor Ferdi Schüth, die Sorge um das Klima und die Verknappung der Rohstoffe haben eine weltweite Diskussion über die zukünftige Energieversorgung unseres Planeten in Gang gesetzt.

Was können Chemie und Katalyse beitragen?

In den kommenden Jahrzehnten müssen wir unser gesamtes Energiesystem umgestalten. Das ist eines der vielschichtigsten Probleme, vor denen die Gesellschaft derzeit steht. Ohne neue chemische Verfahren wird man es nicht lösen können. Schon ein Blick in die Geschichte zeigt, dass die Energiesysteme immer chemischer geworden sind. Früher pumpte man das Öl aus dem Boden und hat es bestenfalls destilliert. Heute sind Raffinerien chemische Fabriken, in denen die Katalyse eine Schlüsselrolle spielt. Durch den Einsatz von Katalysatoren, die chemische Umwandlungen beschleunigen und in ihrem Ablauf steuern, wird zum Beispiel die Herstellung von Hochleistungskraftstoffen für moderne Motoren überhaupt erst möglich.

»Dank Katalyse lassen sich Laptops bald mit Wasserstoff betreiben.«

Brauchen wir in allen Bereichen der Energieversorgung Chemie?

Auf jeden Fall. Ein zukünftiges Energiesystem wird sicherlich auf einem breiteren Energiemix beruhen. Die konventionellen Energiesysteme lassen sich noch enorm verbessern, aber auch für die Entwicklung und Anwendung von neuen Technologien ist Chemieforschung zwingend erforderlich. Biodiesel, den jeder kennt, wird aus Rapsöl durch eine chemische Umwandlung gewonnen. Biokraftstoffe zukünftiger Generationen muss man durch noch aufwendigere chemische Umsetzungen erzeugen, um sie an die Verbrennungscharakteristik der Motoren anzupassen. Organische Solarzellen erfordern neue Polymere und kostengünstige Dünnschichttechnologien, und wenn Wasserstoff-

Brennstoffzellen in Zukunft Autos antreiben oder Batterien in Geräten ersetzen sollen, sind wir auf geeignete Speichermaterialien angewiesen.

Was hat den Wasserstoff eigentlich in den Mittelpunkt der Diskussion um zukünftige Energiesysteme gerückt?

Fossile Rohstoffe sind heute nicht nur unsere Hauptenergiequellen, sondern auch unsere wichtigste Speicher- und Transportform von Energie. Neben neuen Quellen benötigen wir deshalb ebenso dringend eine alternative Energie-Infrastruktur. Hier kommt der Wasserstoff als möglicher universeller Energieträger ins Spiel. Sein Energieinhalt ist recht hoch und vor allem reagiert er am Ort der Energieumwandlung, beispielsweise in einer Brennstoffzelle, zu reinem Wasser. Er verursacht somit bei der Energieumwandlung keine umweltbelastenden Emissionen. Das macht seinen großen Charme aus.

Viel Charme ohne einen Haken?

Leider nein. Wasserstoff kommt in molekularer Form in der freien Natur fast nicht vor und muss unter Energieaufwand hergestellt werden, zum Beispiel durch die Nutzung von Sonnenenergie. Außerdem ist Wasserstoff ein sehr leichtes und flüchtiges Gas, das sich nur mit Mühe in hoher Dichte speichern lässt. Auf beiden Problemfeldern wird intensiv geforscht.

Wie versucht man das Speicherproblem zu lösen?

Physikalisch mit Tieftemperaturbehältern, in denen Wasserstoff bei minus 254 Grad Celsius flüssig gelagert wird, oder in Form sogenannter hochfester Komposit tanks, in die er mit enormem Druck als Gas eingepresst wird. Beide Speicherformen benötigen jedoch viel Gewicht und Platz und sind deshalb gerade im Automobilbau weder technisch noch wirtschaftlich wirklich befriedigend. Ich favorisiere eine chemische Lösung.

Wie sieht diese chemische Lösung aus?

Man kann den Wasserstoff in Form einer flüssigen Verbindung speichern, zum Beispiel als Methanol, oder man bindet ihn an einen chemischen Adsorptionsspeicher wie Aktivkohle, ein Kohlenstoff mit großer innerer Oberfläche. Ein dritter chemischer Weg ist die Speicherung in sogenannten Hydriden.

Das sind vorzugsweise leichte Metalle, die mit dem Wasserstoff eine Verbindung, ein Metallhydrid, bilden. Auf dieser Entwicklungslinie sind wir in Mülheim aktiv. Im Moment haben wir weltweit das beste Hydridspeichersystem, doch es ist leider noch nicht gut genug für die technische Implementierung. Alle diese drei Technologien benötigen erhebliche Fortschritte in der Chemie, speziell der Katalyse.

Welche Rolle spielt die Katalyse jetzt bei der Wasserstoffspeicherung?

An Bord des Fahrzeugs muss der Wasserstoff wieder aus dem Speicher herausgelöst werden, damit man ihn der Brennstoffzelle zuführen kann. Und an einer Tankstelle sollte sich der Speicher zügig füllen lassen. Bei Hydriden beispielsweise schafft man das nur, wenn der Metalllegierung ein Katalysator zugesetzt wird, etwa feinst verteiltes Titan. Ein solcher Katalysator beschleunigt sowohl den Ein- wie auch den Ausbau des Wasserstoffs in und aus dem Metallgerüst. Auch die meisten Prozesse, die Wasserstoff erzeugen, sei es aus Biomasse oder durch photokatalytische Wasserspaltung, sind katalytische Prozesse.

»Der Strom der Zukunft kommt aus der Hausfassade in die Steckdose.«

Wo sonst im Alltag könnten wir Wasserstoff nutzen?

In Laptops oder Mobiltelefonen. Die Effizienz und Energiespeicherdichte eines guten Brennstoffzellen-Systems sind besser als die einer Batterie. Dass wir unsere portablen Elektronikgeräte, in denen sozusagen eine Minichemiefabrik integriert ist, künftig mit Methanol füllen wie Feuerzeuge mit Benzin, dürfte im großen Stil als Erstes marktreif werden. Elektrizität für Wohnwagen oder Boote wird schon heute teilweise durch Brennstoffzellen-Systeme erzeugt.

In Zukunft müssten wir keine elektrische Energie mehr aus der Steckdose beziehen?

Theoretisch nicht, aber man würde es wohl immer noch tun, denn die elektrische Energie ist fürchterlich bequem. Man kann sich aber schon denken, dass jedes Haus an ein Wasserstoff-Verteilssystem angeschlossen ist und im Keller eine Brennstoffzelle stehen hat, die aus dem Wasserstoff Elektrizität und Wärme erzeugt. Wie sinnvoll das ist, müsste eine Gesamtenergie-Betrachtung zeigen. Ich glaube nicht, dass das überhaupt schon jemand durchgerechnet hat.

Eine andere Option ist es, den Strom für jedes Haus autonom mittels Solarzellen zu erzeugen. Wie kann uns die Chemie bei der Verwirklichung dieser Vision voranbringen?

Mit Solarzellen, deren Herstellung günstiger ist als die von Silicium-Solarzellen, die auf hochreines Material angewiesen sind. Man arbeitet etwa an Solarzellen, in denen das Sonnenlicht mithilfe von farbstoffsensibilisiertem Titandioxid in elektrische Energie umgewandelt wird. Von hohem Interesse sind auch organische Solarzellen, die auf polymere Materialien setzen, also letztlich auf elektrisch leitende Kunststoffe, mit denen man Hausfassaden zu Lieferanten von elektrischer Energie machen kann.

Es sind Weichenstellungen für unser Energiesystem notwendig. Wer ist da gefordert?

Wir alle zusammen. Die Aufgabe von uns Forschern ist es, alle Technologieoptionen verfügbar zu machen, damit eine optimale Auswahlmöglichkeit besteht. Die entscheidenden Impulse und Weichenstellungen freilich müssen von der Politik kommen, denn ein Energiesystem wird auf einer Zeitskala von 20 bis 50 Jahren geplant, was über solche Zeiträume nicht allein aufgrund marktwirtschaftlicher Kräfte funktioniert. In Deutschland haben sich die wichtigsten Akteure ja auf den Wasserstoff als Zukunftstechnologie geeinigt, allerdings sehe ich nicht, dass diese Vision auch mit großer Kraft und Konsequenz vorangetrieben wird. Immerhin geschehen spannende Dinge und viele Firmen sind aktiv geworden. Etwa ein Zehntausendstel des täglichen Sonnenlichts würde heute genügen, um die Welt mit Energie zu versorgen. Ich bin überzeugt, dass wir Menschen intelligent genug sind, dieses Potenzial mit guten Technologien anzuzapfen. Das werden wir schaffen.

Bio- und Gentechnologie

Die Bedeutung molekularer Methoden

Seit Tausenden von Jahren nutzt der Mensch die StoffwechsellLeistungen von Bakterien, Pilzen oder Hefen und produziert mit ihrer Hilfe Nahrungsmittel wie Bier, Essig, Joghurt oder Käse. Die moderne Biotechnologie hat diese Produktpalette enorm ausgeweitet.

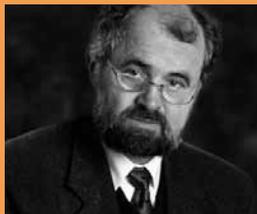
Mit biotechnologischen Verfahren kann man heute Vitamine, Aminosäuren oder Arzneimittel herstellen und neue Rohstoff- und Energiequellen erschließen. Auch laufen die Produktionsprozesse auf diesem Weg oftmals ressourcen- und umweltschonender ab. Dabei werden Mikroorganismen als eine Art Mini-Fabriken eingesetzt, um die gewünschten Stoffe herzustellen. Möglich geworden ist das dank dem Zusammenspiel von Verfahrenstechnik, Biochemie und Mikrobiologie und dank molekularen Methoden wie der Gentechnik.

Alle stofflichen Lebensprozesse laufen letztlich auf der molekularen Ebene ab. Deshalb werden molekulare Methoden heute fast in jedem Fachgebiet der Biologie eingesetzt. Von zentraler Bedeutung sind sie beispielsweise in der Zellbiologie, wenn es darum geht, lebenswichtige Zellfunktionen zu erforschen, oder auch in der Pflanzenbiologie. Mechanismen der Artenbildung, des Wachstums oder der Blütenbildung lassen sich nur unter Anwendung der Gentechnik verstehen. Mit ihrer Hilfe kann man zudem viel gezielter als die klassische Züchtung neue Pflanzensorten auslesen oder mit gewünschten Eigenschaften ausstatten.

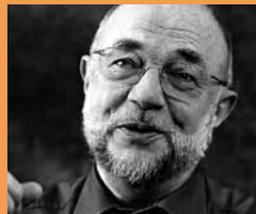
Experten:



Prof. Dr. Garabed Antranikian, Träger des Deutschen Umweltpreises 2004 der DBU



Prof. Dr. Erwin Neher, Nobelpreisträger



Prof. Dr. Heinz Saedler, Träger der Mendel-Medaille



Prof. Dr. Christian Wandrey, Friedrich-Wöhler-Preisträger



Prof. Dr. Harald zur Hausen, Nobelpreisträger



Professor Dr. Garabed Antranikian

Der Mikrobiologe Garabed Antranikian wurde 1951 in Amman geboren und ist Professor an der TU Hamburg-Harburg, wo er die Arbeitsgruppe „Technische Mikrobiologie“ leitet. Er ist Experte für extremophile Organismen und einzellige Lebewesen wie Bakterien und Archaeen, die in unwirtlicher Umgebung wie den Polarregionen oder in der Tiefsee leben. Im Interview erzählt Prof. Antranikian, wie die Biotechnologie von diesen faszinierenden Organismen lernt, robustere Enzyme herzustellen. Mit solchen neuen Enzymen kann man industrielle Produktionsprozesse optimieren und neue Energie- und Rohstoffquellen erschließen.

1. Wer oder was hat Sie zur Biologie gebracht?

In der Schule musste ich ein Poster über die Arbeiten Gregor Mendels anfertigen. Die farbenfrohe Darstellung der Kreuzungsversuche mit Erbsen hat mir viel Spaß gemacht. Mein Biologielehrer war vom Poster angetan und sein Lob hat mich motiviert, weiterhin in der Biologie gute Arbeit zu leisten.

2. Wann oder wo kommen Ihnen die besten Ideen?

Ich fühle mich der Natur verbunden und arbeite gern im Garten. Dort kommen mir etliche Ideen. Ich beobachte gern und auf Spaziergängen trifft mich dann der eine oder andere Gedankenblitz.

3. In Ihrem Kühlschrank findet sich immer ...?

Zutaten für die leichte, mediterrane Küche. Außerdem Garnelen, Greenshell-Muscheln und Limetten. Und ich habe fast immer Parmesankäse auf Vorrat.

4. Welcher Film hat Sie besonders beeindruckt?

„Vanilla Sky“, der die Vermischung von Realität und Fiktion brillant und unterhaltsam darstellt. Beeindruckt hat mich auch der Kurzfilm meines Sohnes Armen „One Minute Guide to Planet Earth“, den er für ein internationales Filmfestival gedreht hat und der in nur einer Minute mit Humor die Erde erklärt.

5. Welches Buch liegt zurzeit auf Ihrem Nachttisch?

Die Belletristik kommt bei mir oft zu kurz, da mich die Fachliteratur in Beschlag nimmt. Zumindest liegen aber drei Bücher auf meinem Nachttisch: „Mayrig“ von Henri Verneuil, „Der Prophet“ von Khalil Gibran und „Ich heiße Aram“ von William Saroyan.

6. Was wäre für Sie als Wissenschaftler das größte Glück?

Ich habe mich sehr über die Verleihung des Umweltpreises 2004 der „Deutschen Bundesstiftung Umwelt“ gefreut. Als Wissenschaftler glücklich bin ich jedoch erst, wenn es mir gelingt, einen Beitrag zur Erhaltung der Umwelt zu leisten.

7. Was ist Ihr Lieblingsbakterium oder Ihre Lieblingsarchae?

Das nach meinem Doktorvater Prof. Dr. Gerhard Gottschalk benannte Bakterium *Anaerobranca gottschalkii* und natürlich das von portugiesischen Kollegen beschriebene Bakterium *Thermus antranikianii*.

8. Welche ist die wichtigste ungelöste Frage in der Biologie?

Das menschliche Genom zu verstehen, um Krankheiten nicht nur zu erkennen, sondern verhindern zu können. Die größten ungelösten Fragen für mich

sind, wie sich aus der unbelebten Materie Systeme entwickeln konnten, die einen Stoffwechsel haben und die sich selbstständig vermehren, und ob auf anderen Planeten Leben existiert.

9. Und welche Frage der Biologie wird in Zukunft, in den nächsten 50 Jahren, gelöst sein?

Dann dürfte man das menschliche Erbgut verstehen und somit bei der Vorbeugung, Diagnostik und Heilung von Krankheiten große Fortschritte verbucht haben.

10. Wo möchten Sie am liebsten leben?

In Hamburg, wo ich mich mit meiner Familie zu Hause fühle. Diese weltoffene Stadt entspricht meiner kosmopolitischen Einstellung.

11. Würden Sie lieber in die Politik oder ins Show-Business gehen?

Weder in das eine noch das andere, dann schon lieber in die Gastronomie. Zumindest koche ich leidenschaftlich gern und habe mich gefreut, dass ich es zeitlich endlich geschafft habe, mein erstes Kochbuch herauszubringen.

12. Was hat Sie in der Biologie am meisten verblüfft?

Die phänomenale Funktionsweise der Enzyme, die unter völlig extremen und lebensfeindlichen Bedingungen effizient arbeiten können.

13. Wem würden Sie einen Forschungs- oder gar Nobelpreis verleihen?

Einen hoch dotierten internationalen Preis hätte mein Doktorvater für seine fundamentalen Forschungsergebnisse über den Stoffwechsel von Bakterien und Archaeen verdient.

14. Mit welchem Wissenschaftler würden Sie gern einmal diskutieren beziehungsweise hätten Sie gern einmal diskutiert?

Greg Venter, der das Ziel hat, einen künstlichen „Minimalorganismus“ zu schaffen.

15. Was braucht man, um ein hervorragender Biologe zu werden?

Um Großes leisten zu können, muss man sich mit seiner Arbeit identifizieren sowie Neugier, Geduld und Akribie aufbringen. Ein guter Wissenschaftler sollte auch nicht vergessen, dass er zum Wohl der Allgemeinheit forscht.

16. Welche Tipps geben Sie Nachwuchsbiologen?

Nicht isoliert, sondern interdisziplinär und in Netzwerken arbeiten sowie die konkreten Anwendungsbereiche berücksichtigen.

**»»Das wahre
Gold der Erde ist
weder gelb noch
schwarz, sondern
lebendig.««**

Professor Garabed Antranikian, Sie als Biotechnologe erforschen intensiv Einzeller, die in unwirtlichen Gegenden wie dem Polareis oder in der Tiefsee leben. Was ist so interessant an solchen Mikroorganismen?

Diese winzigen Lebewesen haben sich über Jahrmillionen an Standorte angepasst, in denen andere Organismen nicht gedeihen können. Sie sind robust gegenüber Kälte, Hitze oder hohem Druck und vermehren sich auch in sehr sauren oder stark salzhaltigen Umgebungen. Wir wollen verstehen, welche biochemischen Prozesse ihren Stoffwechsel auch unter solch extremen Bedingungen am Laufen halten, und davon lernen.

»Mikroorganismen helfen, neue Rohstoff- und Energiequellen zu erschließen.«

Wofür lässt sich dieses Wissen nutzen?

Zur Erschließung neuer Rohstoff- und Energiequellen und zur Optimierung von industriellen Produktionsprozessen. Auf Spitzbergen und sogar am Nordpol haben wir beispielsweise Bakterien gefunden, die sich noch bei wenigen Grad Celsius vermehren. Enzyme, die in diesen Einzellern trotz der Kälte die lebenswichtigen biochemischen Reaktionen steuern, können wir in der Lebensmittelproduktion verwenden. Denn Milch oder Joghurt will man bei tiefen Temperaturen verarbeiten, damit die Inhaltsstoffe stabil bleiben. Und wenn man Milchprodukte für Menschen mit einer Milchzucker-Intoleranz herstellen möchte, sind Enzyme gewünscht, die diesen Milchzucker bereits bei wenigen Grad Celsius abbauen.

Warum laufen überhaupt viele chemische Reaktionen nur unter Einsatz von Wärme ab?

Weil organische Substanzen oft aus sehr komplexen Molekülstrukturen aufgebaut sind. Beim Erwärmen beginnen sich diese netzartigen Gebilde zu lockern. Erst dann können die meisten Enzyme ansetzen und die Molekülketten in kleinere Einheiten aufspalten. Das sehen Sie, wenn Sie in die Suppe Stärke geben und sie aufkochen. Auch wenn Sie ölverschmierte Hände oder verschmutzte Kleider waschen wollen, setzen Sie warmes oder heißes Wasser ein. Doch Wärme bedeutet immer Energieverbrauch, und den möchten wir ebenfalls minimieren.

Dabei können wieder Bakterien vom Nordpol helfen?

Diese Bakterien enthalten Tausende von sogenannten kälteaktiven Enzymen, die man gezielt einsetzen kann, beispielsweise in Waschmitteln. Das Waschmittel arbeitet dadurch bereits bei niedrigeren Temperaturen und hilft somit Energie zu sparen. Es gibt aber viele industrielle Prozesse, bei denen man auf hohe Temperaturen, Druck und Lösungsmittel noch nicht verzichten kann. Denken Sie zum Beispiel an die Papierherstellung, bei der Holz verarbeitet wird. Um solche Verfahren zu optimieren, braucht es ebenfalls neue und robustere Biokatalysatoren, denn die bisher bekannten Enzyme werden unter solch extremen Produktionsbedingungen schnell inaktiv.

Hat die Natur auch hier eine Lösung anzubieten?

Ja, in diesem Fall können wir von Archaeen lernen. Das sind ebenfalls Einzeller, die sich jedoch von Bakterien durch ihren Zellaufbau unterscheiden. Sie gelten deshalb in der Stammesgeschichte der Evolution als eigene Artenfamilie. Einige Forscher sehen in ihnen sogar den Ursprung des Lebens. Die meisten Archaeen sind Extremophile, also Organismen wie die Polarbakterien, die unter extremen Bedingungen existieren. Manche Arten sind mindestens zwei, drei Milliarden Jahre alt und spezialisiert auf heiße Regionen. Sie leben in der Erdkruste oder am Rand von Vulkanen und auch in der Tiefsee. Tausende Meter tief sitzen sie dort an den Außenwänden von heißen Schloten, sogenannten Black Smokern, und überstehen Temperaturen von über 100 Grad.

Von der Hitzetoleranz solcher Archaeen lernt der Biotechnologe, wie man Holz chemisch aufspalten kann?

An dieser und anderen Anwendungen wird weltweit geforscht. In Hamburg haben wir jüngst Proben erhalten, die von japanischen Wissenschaftlern aus 500 Metern Tiefe der Erdkruste unter dem Pazifischen Ozean herausgebohrt worden sind. In einem Milliliter Bodenprobe fanden wir Millionen von Mikroorganismen oder Spuren ihrer Erbinformation. Dank enorm verbesserter Technologien sind wir heute in der Lage, die Enzymsysteme dieser Organismen sehr schnell und umfassend zu analysieren. Das Ziel ist es, generell Biokatalysatoren zu finden, denen weder Hitze, Druck noch hoch konzentrierte Lösungsmittel etwas anhaben können. Solche Enzyme sind auch Kandidaten für die optimale Nutzung nachwachsender Rohstoffe wie Holz und andere Biomasse.

Halten die Enzymsysteme der Extremophilen für uns noch viele Überraschungen bereit?

Mit Sicherheit. Das Potenzial der biologischen Systeme ist riesig. Von allen Mikroorganismen kennen wir heute erst etwa ein Prozent der Arten. Eine optimale Zusammenarbeit von Grundlagenforschung, Biologie, Chemie und Verfahrenstechnik wird es uns ermöglichen, mithilfe von Extremophilen viele verschiedene industrielle Verfahren ressourcen- und umweltschonender zu gestalten. Wir können es auch schaffen, unsere Vision einer Bioraffinerie zu verwirklichen.

Wie muss man sich eine solche Bioraffinerie vorstellen?

Das Ausgangsmaterial ist Biomasse, die im Wesentlichen aus den schwer abbaubaren Bestandteilen Zellulose und Lignin besteht. Fleißige Mikroorganismen und maßgeschneiderte Enzyme zersetzen diese Substrate in unterschiedlichste Produkte: chemische Grundstoffe wie Butanol, Propandiol oder Alkohole, Milchsäure für die Lebensmittel- und Pharmaindustrie oder sogenannte Building Blocks, kleine Moleküle, die dann zum Beispiel zu Biokunststoffen weiterverarbeitet werden können.

Damit wären unsere Ressourcenprobleme gelöst?

Nein, aber die Biotechnologie und Extremophile können zur Lösung einen wichtigen Beitrag leisten. Jeden Tag produziert die Natur durch Photosynthese weltweit etwa 400 Millionen Tonnen Biomasse. Wenn wir allein den Teil verwerten, der nicht für die Nahrungsmittelproduktion gebraucht wird, also vor allem Pflanzenreste, können wir bereits beträchtliche Mengen an wertvollen Rohstoffen gewinnen.

»**Bakterien vom Nordpol sparen Energie beim Waschen.**«

Auch Energierohstoffe?

In Deutschland werden wir uns wohl angesichts der beschränkten Landflächen in erster Linie auf die Produktion von speziellen Rohstoffen für die Industrie konzentrieren. Außerdem müssen wir die Technologie weiterentwickeln, in der wir weltweit schon in der obersten Liga mitspielen. Bioenergie in Form von Ethanol oder Methan lässt sich aber selbstverständlich auch in Bioraffinerien gewinnen, zum Beispiel durch die Vergärung von Abfällen. Vielleicht können wir künftig in solchen Anlagen sogar Wasserstoff produzieren. Wichtig ist, dass wir die Stoffkreisläufe als Ganzes sehen und nutzen. Knapper und teurer werdende Rohstoffe wie das Erdöl zwingen uns, nach Alternativen zu suchen. Wenn es um die Lösung solcher Herausforderungen geht, war der Mensch schon immer besonders innovativ.



Professor Dr. Erwin Neher

Erwin Neher ist Direktor am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen und leitet dort die Abteilung für Membranbiophysik. Der 1944 in Landsberg am Lech geborene Biophysiker erhielt 1991 zusammen mit Bert Sakmann den Nobelpreis für Physiologie oder Medizin für den Nachweis von Ionenkanälen. Solche Kanäle sitzen wie Poren in den Zellhüllen und steuern als molekulare Schaltstellen sehr viele Körperfunktionen. Im Interview erläutert er das Potenzial der Zellbiologie für die Entwicklung von Medikamenten oder für die Verbesserung von Therapien nach Schlaganfällen oder bei Erkrankungen des Nervensystems.

Nobelpreis für Medizin 1991

Professor Erwin Neher erhielt 1991 den Nobelpreis für Physiologie oder Medizin zusammen mit Professor Bert Sakmann. Die beiden deutschen Wissenschaftler hatten eine Methode entwickelt, mit der erstmals experimentell an lebenden Zellen die Existenz von sogenannten Ionenkanälen nachgewiesen werden konnte. Diese Moleküle sitzen wie Poren im Membransystem der Zellen und regulieren zum großen Teil die Kommunikation innerhalb der Zellen sowie auch zwischen den Zellen eines Organismus.

Die Methode von Erwin Neher und Bert Sakmann wird Patch-Clamp-Technik genannt, zu Deutsch: Fleckenklammer-Technik. Dabei wird eine dünne Mikropipette aus Glas mit nur einem tausendstel Millimeter Durchmesser so eng auf die Zellmembran gesetzt, dass sie selbst den geringsten Strom registrieren kann, der in den Ionenkanälen fließt. Die Technik ermöglicht es auch, den Einfluss einzelner

Substanzen auf die Ionenkanäle gezielt zu untersuchen. Dadurch kann man die Wirkung von Arzneimitteln direkt auf molekularer Ebene überprüfen und Medikamente sicherer machen.

Ionenkanäle vermitteln die elektrischen Signale zwischen Nervenzellen und wandeln in den Sinnesorganen physikalische Reize wie Licht, Schall und Berührung in elektrische Signale um. Sie steuern Muskeln und regulieren den Stofftransport in den Organen. Ihre Entdeckung bedeutete für die Medizin eine entscheidende Weiterentwicklung. Viele Erkrankungen beruhen teilweise oder auch ganz auf einer defekten Regulierung des Ionenflusses, so zum Beispiel Epilepsie, verschiedene Herz- und Gefäßkrankheiten oder Nerven- und Muskelkrankheiten. Das bessere Verständnis von Ionenkanälen wird mit weiteren Fortschritten in der Zellbiologie zu „Medikamenten nach Maß“ und ganz neuen Therapieansätzen, etwa bei Schlaganfällen, führen.

**»» Wenn wir
mehr über das
Verhalten von
Zellen wüssten,
ließen sich die
Folgen von
Schlaganfällen
besser
behandeln.««**

Professor Erwin Neher, Ihre Forschungen vor mehr als 30 Jahren haben dazu beigetragen, dass heutige Medikamente sicherer sind. Hätte Ihnen die moderne Gentechnologie die Arbeit erleichtert?

Auf jeden Fall. Bei der Entwicklung unserer Methoden zum Nachweis von Ionenkanälen in den Siebziger- und Achtzigerjahren konnten wir diese Kanal-moleküle nur durch elektrische und pharmakologische Reize beeinflussen. Die Gentechnik ermöglicht es uns jetzt, ihre Eigenschaften anhand gezielter Veränderungen am Molekül zu studieren.

Was ist überhaupt die Aufgabe von Ionenkanälen?

Diese Moleküle sitzen wie Poren in den Zellmembranen und übernehmen einen großen Teil der Kommunikation zwischen den Zellen eines Organismus. Sie vermitteln die elektrischen Signale zwischen Nervenzellen, wandeln in den Sinnesorganen physikalische Reize wie Licht, Schall und Berührung in elektrische Signale um, steuern Muskeln oder regulieren den Stofftransport in den Organen. Dabei werden zwischen der Außenwelt und dem Inneren der Zelle durch Tausende von Kanälen geladene Atome wie Natrium, Kalium oder Kalzium, also Ionen, geschleust, weshalb man diesen lebenswichtigen molekularen Schaltstellen den Namen Ionenkanäle gab.

Wie macht die Ionenkanalforschung nun Arzneimittel sicherer?

Ionenkanäle sind wichtige Angriffspunkte von Medikamenten. Ihre Erforschung hilft uns festzustellen, ob Medikamente im Körper genau dort andocken, wo sie eine Funktion fördern oder hemmen sollen. Wie man jetzt weiß, erzielen an die zehn Prozent der Arzneimittel ihre Wirkung an bestimmten Typen von Ionenkanälen. Ihre Zielsicherheit ist jedoch nicht immer gewährleistet. Insbesondere Kanäle von Herzmuskelzellen binden viele Substanzen, die an anderer Stelle ideale Medikamente wären. Sie lösen dadurch Herzrhythmusstörungen aus. Deshalb testet man heute noch vor der klinischen Prüfung alle potenziellen Arzneistoffe im Labor speziell auf Nebenwirkungen am Herzen.

Hat die Ionenkanalforschung selbst auch schon zu neuen Medikamenten geführt?

Daran wird weltweit intensiv geforscht. Eine Vielzahl von Neuropharmaka, Schmerzmitteln und Antiepileptika greifen an Ionenkanälen an. Für diese Anwendungen sind bereits wirksamere Substanzen mit geringeren Nebenwirkungen gefunden worden, zum Beispiel Substanzen, die Kalziumkanäle blockieren. Sie werden als Schmerzmittel eingesetzt, wenn die körperlichen Ursachen der Schmerzen nicht erkennbar sind. Gerade das Studium der Funktion von Kalziumkanälen zeigt, wie wichtig Grundlagenforschung ist, auch wenn sie nicht unmittelbar zu Anwendungen führt.

»Wer Erfolgsgarantien will, verkennt das Wesen der Forschung.«

Inwiefern?

Sie fördert ganz neue Therapieansätze zu Tage. Kalziumionen sind universelle Signalvermittler im Körper. In richtiger Dosierung regelt Kalzium eine Vielzahl zellulärer Prozesse wie etwa die Freisetzung von Hormonen oder die Muskelkontraktion. Zu viel Kalzium in der Zelle kann jedoch den programmierten Zelltod auslösen, die sogenannte Apoptose. Dieser Mechanismus gehört zum normalen Stoffwechselprogramm von Körperzellen und wurde erst vor etwa 20 bis 30 Jahren entdeckt. Er läuft in jedem Organismus in vielfältiger Weise ab, wenn es im Rahmen seiner Entwicklung erforderlich ist, gewisse Gewebe abzubauen. Auch Zellen, die das Potenzial zur Tumorbildung haben oder durch eine Überdosis Kalzium geschädigt sind, werden durch Apoptose eliminiert. Es hat sich nun herausgestellt, dass dieser Zelltod irrtümlich auch als Folge leichter Gewebeschädigung nach Schlaganfällen ausgelöst wird.

Aufgrund von Ionenkanälen?

Ionenkanäle haben sicher damit zu tun. Nach einem Schlaganfall bricht die Sauerstoffversorgung des Nervengewebes in der Nähe eines verstopften oder geplatzten Gefäßes zusammen, wodurch Zellen sofort absterben. Es öffnen sich aber auch Ionenkanäle, die zu viel Kalzium in die Zellen eintreten lassen. Selbst in der Peripherie können noch Tage später Zellen abgebaut werden, weil in ihnen durch zu hohe Kalziumkonzentration die Apoptose ausgelöst worden ist. Die Kenntnis dieser Mechanismen verspricht neue Ansätze in der Therapie von Langzeitschäden beim Schlaganfall, die noch vor 20 Jahren undenkbar waren.

Indem man den programmierten Zelltod zwischenzeitlich ausschaltet?

Das ist die Idee, denn das würde schlimmste Auswirkungen wie Lähmungen minimieren. Die Schlaganfallforschung ist ein gutes Beispiel für das Potenzial der Zellbiologie. Auch in Bezug auf degenerative Erkrankungen des Nervensystems wie Alzheimer, Parkinson oder die zu Muskellähmungen führende amyotrophe Lateralsklerose bestehen gute Aussichten, dass man Behandlungsmethoden findet, die auf dem allgemeinen Verständnis zellbiologischer Vorgänge basieren.

Weshalb?

Nervenzellen sind anderen Zellen unseres Körpers in vielem sehr ähnlich. Sie benutzen dieselben Regulationsmechanismen beim Stoffwechsel, bei der Differenzierung oder für den programmierten Zelltod. Mögliche Therapien erfordern daher nicht unbedingt die detaillierte Kenntnis der äußerst komplexen neuronalen Signalverarbeitung in unserem Gehirn, die wir noch lange nicht im Einzelnen kennen.

Wäre moderne Zellforschung ohne Gentechnik überhaupt durchführbar?

Nein. Die Diskussion erinnert mich an die einstigen Vorurteile gegenüber der Elektrizität. Von einem Biowissenschaftler zu erwarten, auf die Gentechnik zu verzichten, wäre so, wie wenn man von einem Physiker verlangen würde, er solle seine Forschung

ohne elektrische Geräte betreiben. Dank gentechnischer Methoden verstehen wir heute eine Vielzahl zellulärer Prozesse, von denen wir früher nicht einmal ahnten, dass sie existieren.

»Dank Gentechnik verstehen wir heute Prozesse, die wir vor Jahrzehnten nicht einmal kannten.«

Die mögliche Heilung von neuronalen Erkrankungen oder gar Geisteskrankheiten ist keine leere Versprechung?

Uns Wissenschaftlern wird oft vorgeworfen, wir würden Versprechungen machen, ohne Beweise zu erbringen. Wäre es denn ethisch vertretbar, nicht auf Möglichkeiten hinzuweisen, selbst wenn man den genauen Weg zu einer sicheren Therapie noch nicht kennt? Ich denke, nicht. Wer Erfolgsgarantien will, verkennt das Wesen der Forschung. Sie zeigt auf, sagt aber nicht exakt vorher, was man beim Betreten von Neuland finden kann. Der Forscher weiß am besten, wo Wissenszuwachs zu erwarten ist. Deswegen muss ihm die Politik Freiräume zugestehen, damit er schnell und ohne große Einschränkungen die Dinge verfolgen kann, die er als wichtig und Erfolg versprechend erkennt.



Professor Dr. Heinz Saedler

Der vielfach ausgezeichnete Molekularbiologe Heinz Saedler wurde 1941 in Bad Godesberg geboren und ist Honorarprofessor em. an der Universität Köln. Als Direktor am Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung in Köln leitete er bis Ende Juni 2009 die Abteilung „Molekulare Pflanzengenetik“. Im Interview erklärt Prof. Saedler die Bedeutung der Artenvielfalt für das Gleichgewicht der Natur und wie gentechnische Pflanzenzüchtung zu deren Erhalt beitragen kann. Weitere Beispiele, wie wir von der Gentechnik profitieren können, sind die Gendiagnostik und die pflanzliche Herstellung von Arzneiwirkstoffen oder Rohstoffen für die Industrie.

- 1. Wer oder was hat Sie zur Pflanzengenetik gebracht?**
Schiere Neugier: die Anziehungskraft mosaikfarbener Blüten und Samen.
- 2. Wann oder wo kommen Ihnen die besten Ideen?**
Auf einsamen Spaziergängen.
- 3. In Ihrem Kühlschrank findet sich immer ...?**
Verschiedene Käsesorten – mein Lieblingsnack.
- 4. Welcher Film hat Sie besonders beeindruckt?**
Falls die Häufigkeit des Anschauens ein Maß für „beeindruckt“ ist, dann „Some like it hot“ von Billy Wilder.
- 5. Welches Buch liegt zurzeit auf Ihrem Nachttisch?**
„Die dunkle Seite der Liebe“ von Rafik Schami.
- 6. Was wäre für Sie als Wissenschaftler das größte Glück?**
Die Fertigstellung unserer „WissenschaftsScheune“, in der Bürger/-innen Wissenschaft zum Anfassen erleben können.
- 7. Was ist Ihr Lieblingsgen?**
MPF2 kontrolliert die Ausbildung der „chinesischen Laterne“ in *Physalis*, einer Beilage auf jedem kalten Buffet, und ist außerdem auch für die männliche Fruchtbarkeit der Pflanze zuständig.
- 8. Welche ist die wichtigste ungelöste Frage in der Pflanzengenetik?**
Das weiß ich nicht. Es gibt zu viele.
- 9. Und welche Frage der Pflanzengenetik wird in Zukunft, in den nächsten 50 Jahren, gelöst sein?**
Simulation der morphologischen Entwicklung während des Lebenszyklus einer Pflanze, basierend auf ihrer genetischen Information.
- 10. Wo möchten Sie am liebsten leben?**
„Kölle, du uns, Stadt am Rhing, Heimat schon von Anbejinn“ (jedenfalls von meinem wissenschaftlichen Leben).
- 11. Würden Sie lieber in die Politik oder ins Show-Business gehen?**
Bestenfalls in die Politikberatung, denn hier könnte man eventuell etwas bewirken.
- 12. Was hat Sie in der Pflanzengenetik am meisten verblüfft?**
Die explosionsartige Entwicklung seit der Entdeckung der DNA als Erbmaterial.
- 13. Wem würden Sie einen Forschungs- oder gar Nobelpreis verleihen?**
Kollegen und Kolleginnen, die einen Durchbruch bei der Beantwortung der Frage 9 erzielen.
- 14. Mit welchem Wissenschaftler würden Sie gern einmal diskutieren beziehungsweise hätten Sie gern einmal diskutiert?**
Mit den Evolutionsbiologen Charles Darwin und Alfred Russel Wallace.
- 15. Wie wird man ein hervorragender Pflanzen-genetiker?**
Durch eine interdisziplinäre Ausbildung, zum Beispiel in Biochemie, Bioinformatik, Botanik und molekularer Genetik.
- 16. Welche Tipps geben Sie Nachwuchswissenschaftlern?**
Naturwissenschaften sind eine wichtige Komponente unserer Kultur, der Umgang mit ihnen macht Spaß, ihre Anwendung ist überlebenswichtig für unsere Gesellschaft.

**»Gentechnologie
macht die
Erde zwar nicht
größer, aber
ertragreicher.«**

Professor Heinz Saedler, die Erhaltung der Pflanzenvielfalt ist ein zentrales Anliegen vieler Menschen. Für Sie als Biologe auch?

Das Bedürfnis nach Vielfalt scheint tief in uns verankert zu sein. Auch ich sehe in jeder Pflanze einen Mitbewohner dieser Welt, für den ich Verantwortung trage. Deshalb kann ich bestens nachvollziehen, wenn sich jemand für den Schutz der biologischen Vielfalt einsetzt und sei es lediglich in seinem eigenen Garten.

Welche wissenschaftlichen Gründe sprechen für die Erhaltung der Artenvielfalt?

Gemeinschaften mit vielen verschiedenen Mitgliedern sind besonders stabil. Das komplexe Zusammenspiel der Pflanzen untereinander macht solche Lebensräume aber auch anfällig. Wenn beispielsweise im tropischen Regenwald ein Großteil der Bäume gerodet wird, bricht das lokale Ökosystem zusammen und es entsteht in kurzer Zeit Einöde.

Mit globalen Auswirkungen?

Ein wichtiger Nutzen der Artenvielfalt für unsere Welt ist ihre Pufferwirkung, die für Gleichgewicht sorgt, speziell in Bezug auf Emissionen. So spielt der tropische Regenwald von jeher eine bedeutende Rolle im CO₂-Kreislauf, wie übrigens Ozeane und andere Ökosysteme auch, die viel Kohlendioxid binden. Wenn wir solche Pufferzonen zerstören, schießen wir ein Eigentor. Dann ist das Ungleichgewicht auf unserem Planeten mit all seinen Folgen vorprogrammiert.

Was können wir tun?

Im Laufe der Evolution verschwinden und entstehen immer wieder Arten. Damit wir diese Dynamik erhalten können, müssen wir zuerst herausfinden, wie Artenvielfalt überhaupt funktioniert, was Arten sind, wie ihr Verbreitungspotenzial ist und wie neue Arten entstehen. Diese Fragen geraten zunehmend in den Mittelpunkt der Molekularbiologie und sind eine große wissenschaftliche Herausforderung.

In der Schule haben wir gelernt, dass man unter einer biologischen Art eine Gruppe von Individuen versteht, die untereinander genetische Information austauschen und sich so fortpflanzen können. Was ist daran unklar?

Wenn ein Gen-Austausch zwischen zwei Individuen verschiedener Arten überhaupt zu Nachkommen führt, sind diese in der Regel nicht fruchtbar. Ein Paradebeispiel ist das Maultier, die Kreuzung zwischen einer Pferdestute und einem Eselhengst. Es sind in der Natur aber Ausnahmen von dieser Regel entdeckt worden. Etwa bei den von klassischen Botanikern beschriebenen 75 *Physalis*-Arten, der Lampionblume, deren laternenförmige Früchte heute gerne als Tischdekoration verwendet werden. Zwischen einigen dieser Arten führt Gen-Austausch zu fruchtbaren Nachkommen, die somit neue Arten darstellen könnten.

»Neue Nutzpflanzen schaffen Lebensraum für die biologische Vielfalt.«

Diesen Mechanismus erforschen Sie auf der molekularen Ebene?

Ja, wobei wir erst am Anfang stehen. Evolutionsbiologie verlangt einen interdisziplinären Ansatz und man benötigt das ganze molekularbiologische Repertoire wie Gen-Isolierung, Gen-Diagnostik oder Gen-Übertragung.

Wie läuft beispielsweise eine Gen-Übertragung im Labor ab?

Zuerst isolieren wir das Gen, das wir übertragen wollen. Dann schleusen wir es mithilfe sogenannter Gen-Fähren in den neuen Wirt ein. Als Gen-Fähren verwenden wir zum Beispiel Bakterien. Man entfernt ein Gen des Bakteriums und ersetzt es durch das zu übertragende Gen. Dieses neue Gen bildet dann in der Wirtspflanze ein bestimmtes Merkmal aus. Auf diese Weise hat man den sogenannten Bt-Mais entwickelt, der viel widerstandsfähiger gegen Schädlinge wie die Raupen des Maiszünslers ist, die sonst große Ernteauffälle verursachen.

Sehen Sie schon konkrete Anwendungen, wenn man die Artengrenzen besser versteht?

Wir können zum Beispiel in unsere Nutzpflanzen deren wilde Vorfahren einkreuzen. Damit wird die Vielfalt bereits vergrößert. Das grundsätzliche Problem auf unserem Globus ist jedoch die Beschränktheit der Ressourcen. Die landwirtschaftlich nutzbare Fläche nimmt ab, während die zu ernährende Weltbevölkerung zunimmt. Wenn wir für die Vielfalt der Arten wichtige Lebensräume erhalten wollen, müssen wir ertragreichere Nutzpflanzen entwickeln und die Hektar-Erträge erheblich steigern. Hier sind Wissenschaft wie Politik gefordert.

Inwiefern unterscheidet sich eigentlich die seit Jahrhunderten betriebene konventionelle Pflanzenzüchtung von der gentechnischen?

In der klassischen Züchtung wird genetisches Material sexuell und meistens innerhalb einer Pflanzenart übertragen. Durch die Anwendung der Gentechnik lassen sich Artenbarrieren generell überschreiten. Aber auch die klassische Züchtung profitiert von dieser Technologie. Mithilfe der Gen-Diagnostik kann zum Beispiel ein Züchter die Selektionsdauer für ein gewünschtes Merkmal verkürzen. Früher brauchte es eine jahrelange Auslese in Nachfolgegenerationen, bis etwa eine einzige ertragreiche Weizensorte gefunden wurde.

Wo sonst profitieren wir von der Gentechnik?

Ein weites Spektrum an Nutzenpotenzial eröffnet sich uns in der Medizin. Zum Beispiel durch Reis mit erhöhtem Gehalt an Provitamin A, um der Erblindung als Mangelerkrankung vorzubeugen. Mit Gentechnik können wir aber Pflanzen auch dazu verwenden, Arzneiwirkstoffe herzustellen. Und für die Industrie können energieschonend Rohstoffe produziert werden, etwa bestimmte Stärkeformen zur Herstellung von Papier und Klebstoffen.

Was für eine Rolle spielt Deutschland in diesen Forschungsbereichen?

Mehr als zehn Jahre lang gehörten wir zur Topliga. Wir entwickelten grundlegende Technologien, die zu Patenten führten und weltweit eingesetzt werden. Der Bruch kam in den 90er-Jahren. Die damals erlassenen Gesetze zwangen mich und die meisten meiner Kollegen zu einem Rückzug in die reine

Grundlagenforschung. Nun erarbeiten wir nach wie vor Wissen, aber wir können es hier in Deutschland weder in Anwendungen noch in zusätzliche Arbeitsplätze umsetzen.

»Mit Gentechnik können wir Pflanzen dazu verwenden, Arzneiwirkstoffe herzustellen.«

Was muss sich ändern?

Wenn Innovation in diesem Land erwünscht ist, müssen die Rahmenbedingungen so gestaltet werden, dass Innovation auch bei uns machbar wird. Chancen sind da, damit sie genutzt werden. Uns am Institut für Züchtungsforschung zum Beispiel trifft fundamental die restriktive Genehmigungspraxis für Freilandversuche. Das hindert uns daran, Testpflanzen zu entwickeln, dank derer die Wechselwirkungen zwischen Umwelt und Genen viel genauer untersucht werden können.

Verstelt die Diskussion über Nachteile von gentechnisch veränderten Pflanzen den Blick auf die Vorteile?

Das zeigt sich am vorhin erwähnten Bt-Mais. Da diese Sorte den Maiszünsler abwehrt, ist sie viel weniger mit Pilzgiften belastet, denn durch die Bisswunden der Raupen dringen immer auch gefährliche Schimmelpilze in die Pflanze ein. Eines dieser Pilzgifte ist das Fumonisin. Es ruft Fehlgeburten und Missbildungen an Kleinkindern hervor. In Entwicklungsländern wie etwa Guatemala ist die Fehlgeburtenrate 20-mal größer als in den USA. Dort könnte Bt-Mais also segensreich wirken. Solche erheblichen Vorteile gentechnisch veränderter Pflanzen sind allgemein zu wenig bekannt.



Professor Dr. Christian Wandrey

Der Chemiker Christian Wandrey, geboren 1943 in Plauen, ist Professor em. für Biotechnologie an der Universität Bonn. Bis Ende Juli 2008 war er Direktor am Institut für Biotechnologie des Forschungszentrums Jülich. Als Experte für Bioprozessentwicklung hat er zahlreiche Auszeichnungen erhalten, darunter auch den Philip-Morris-Forschungspreis. Bei der Bioprozessentwicklung geht es darum, Methoden dafür zu finden, Produkte mithilfe von Mikroorganismen herzustellen. Wie das funktioniert und welche Produkte die unsichtbaren Helfer synthetisieren können, erläutert Professor Wandrey im Interview.

- 1. Wer oder was hat Sie zur Chemie gebracht?**
Meine Mutter, die mir erlaubte, in ihrer Küche erste chemische Experimente durchzuführen.
- 2. Wann oder wo kommen Ihnen die besten Ideen?**
Zwischen 17.00 und 19.00 Uhr in meinem Büro, wenn kein Telefon klingelt und ich mit einem Doktoranden eine Idee diskutiere, die scheinbar wenig Sinn macht.
- 3. In Ihrem Kühlschrank findet sich immer ...?**
Seit 25 Jahren ein trägerfixiertes Enzym, das so aufbewahrt immer noch funktioniert.
- 4. Welcher Film hat Sie besonders beeindruckt?**
Ein Film über Madame Curie und ihre Schwierigkeiten, sich in einer männerdominierten Wissenschaftsgesellschaft durchzusetzen.
- 5. Welches Buch liegt zurzeit auf Ihrem Nachttisch?**
Ein Buch von Erich Follath, Alexander Jung: „Der neue Kalte Krieg – Kampf um die Rohstoffe“.
- 6. Was wäre für Sie als Wissenschaftler das größte Glück?**
Noch besser zu verstehen, wie die Biokatalyse in Mikroorganismen wirklich funktioniert, und mit diesem Verständnis etwas Nützliches zu tun.
- 7. Was ist Ihr Lieblingsmolekül?**
Die Aminosäure L-Methionin, die in Infusionslösungen gebraucht wird. Weil es uns gelungen ist, dafür ein biotechnologisches Verfahren zu entwickeln.
- 8. Welche ist die wichtigste ungelöste Frage in der Chemie?**
Warum leben wir in einer Welt, in der Linke-Hand-Moleküle und nicht Rechte-Hand-Moleküle bevorzugt werden?
- 9. Und welche Frage der Chemie wird in Zukunft, in den nächsten 50 Jahren, gelöst sein?**
Ich sehe gute Chancen, dass wir die komplexe Biochemie in Mikroorganismen quantitativ verstehen und zunehmend für chemische Produktionen nutzen werden.
- 10. Wo möchten Sie am liebsten leben?**
Da, wo ich jetzt lebe, in der von der Wissenschaft geprägten Stadt Jülich, wo sich meine beruflichen und privaten Kontakte in den letzten 30 Jahren entwickelt haben.
- 11. Würden Sie lieber in die Politik oder ins Show-Business gehen?**
In die Politik, um dort weniger Show und mehr Wissenschaft zu befördern.
- 12. Was hat Sie in der Chemie am meisten verblüfft?**
Dass viele Konzepte der organischen Synthese beim Aufbau komplizierter Moleküle tatsächlich funktionieren.
- 13. Wem würden Sie einen Forschungs- oder gar Nobelpreis verleihen?**
Prof. Francis Arnold (California Institute of Technology) für die Entwicklung der Methode der technischen Evolution von Biokatalysatoren, mit der man eine nicht natürliche Evolution im Labor nutzt, um zu neuen Katalysatoren zu gelangen.
- 14. Mit welchem Wissenschaftler würden Sie gern einmal diskutieren beziehungsweise hätten Sie gern einmal diskutiert?**
Mit dem zweifachen Nobelpreisträger Linus Pauling.
- 15. Was braucht man, um ein hervorragender Chemiker zu werden?**
Freude am Experiment, zumindest halbquantitatives Verständnis für komplexe Zusammenhänge, Frustrationstoleranz, weil viele Experimente schiefgehen.
- 16. Welche Tipps geben Sie Nachwuchskemikern?**
Bedenken Sie, dass Mikroorganismen fantastische chemische Mini-Fabriken sind.

»» Mit Biotechnologie können wir nachwachsende Rohstoffe besser nutzen.«

Professor Christian Wandrey, Mikroorganismen sind die kleinen, unsichtbaren Helfer in der Biotechnologie. Was können diese Einzeller alles leisten?

Dass Mikroorganismen bei der Herstellung von Joghurt, Vitaminen, Antibiotika oder Insulin eine Rolle spielen, ist weitgehend bekannt. Kaum jemand weiß jedoch, dass die Biotechnologie mithilfe dieser Einzeller auch Grundstoffe für die Industrie gewinnen kann. Von besonderer Bedeutung sind hierbei Pflanzen, sogenannte nachwachsende Rohstoffe. Weltweit entstehen zum Beispiel jeden Tag über 400 Millionen Tonnen pflanzliche Cellulose. Das entspricht etwa dem Körpergewicht aller Menschen. Cellulose kann man als Ersatz für fossile Rohstoffe verwenden, denn sie besteht aus Glucosemolekülen, also Zucker. Cellulose ist aber besonders schwer zu „knacken“. Deshalb werden bisher vornehmlich Stärke und Zucker aus Zuckerrohr genutzt.

»Mikroorganismen produzieren heute Medikamente, morgen auch chemische Grundstoffe.«

Zucker anstelle von Erdöl für die Industrie?

Ja. Erdöl wird in Raffinerien durch ausgeklügelte Verfahren in seine chemischen Bestandteile zerlegt, mit denen man dann weiterarbeiten kann. Die Biotechnologie geht einen anderen Weg. Sie nutzt die Synthesemöglichkeiten der Natur und macht Chemie mit Mikroorganismen. Einzeller wie Bakterien, bestimmte Pilze oder Hefen sind chemische Mini-Fabriken. Ihr Stoffwechsel baut aus Nahrung wie Zucker verschiedenste Moleküle auf. Innovative Methoden der Biotechnologie bringen diese Mikroorganismen dazu, unter technischen Bedingungen in großen Mengen bereits bekannte oder auch neue Stoffe zu produzieren.

Wie geht das?

In einem Fermenter, einem speziellen Stahltank, der bis zu 500 Kubikmeter Volumen hat – fast so viel wie ein Hallenschwimmbecken. Nehmen wir als Beispiel das Verfahren zur Produktion des Moleküls L-Lysin, eine der insgesamt 20 verschiedenen Aminosäuren, aus denen alle Proteine aufgebaut sind. L-Lysin ist eine sogenannte essenzielle Aminosäure. Das heißt, Menschen und viele Tiere haben verlernt, diese Aminosäure im eigenen Körper herzustellen, weil sie über die Nahrung geliefert wird. Bakterien wie das Corynebakterium glutamicum hingegen stellen sie für den Eigengebrauch noch selbst her. Mithilfe gentechnischer Methoden hat man dieses Bakterium nun derart verändert, dass es in einem Fermenter mehr L-Lysin produziert, als es selbst benötigt. Weltweit werden so pro Jahr inzwischen 800.000 Tonnen hergestellt.

Wozu brauchen wir diese Mengen an L-Lysin?

Vor allem als Zusatz für Tierfutter. Zwei Gramm pro Kilo reichen, damit das Futter den doppelten Nährwert hat. Das ist gut für die Kuh und den Geldbeutel des Bauern. Solches Futter ist auch gut für die Umwelt, denn mit L-Lysin angereichertes Futter verwertet das Tier viel effizienter. So werden weniger Exkremente ausgeschieden.

L-Lysin könnte man ohne Biotechnologie nicht herstellen?

Doch, aber es wird teurer, wenn man das Molekül in der reinen L-Konfiguration will, wofür das L im Wort L-Lysin steht. Viele Reaktionen bekommen die Chemiker besser hin. Insbesondere, wenn kleine Moleküle im Spiel sind. Bei komplexeren Strukturen hingegen eignen sich oft biotechnologische Produktionsweisen besser und die chemische Industrie wird diese Verfahren auch vermehrt einsetzen.

Weiß man denn genug darüber, was Mikroorganismen alles können?

Bei Weitem nicht. Heute kennen wir zwar Millionen von unterschiedlichen Mikroorganismen. Die Biologen schätzen aber, dass damit nur etwa ein Prozent aus diesem riesigen, für unsere Augen unsichtbaren Reich erfasst ist. Auch die Kultivierung von Mikroorganismen im Labor ist bisweilen ein Problem. In den letzten Jahrzehnten sind jedoch große

Fortschritte gemacht worden. Früher waren Mikroorganismen eine Black Box, heute sind wir auf dem Wege zu gläsernen Zellen. Das verdanken wir einer analytischen Hochtechnologie. Ähnlich wie in der Nanotechnologie und der Mikroelektronik werden im kleinsten Maßstab die komplexen Stoffwechselwege eines Mikroorganismus aufgespürt. Das Beste kommt also noch.

Wie muss man sich diese Komplexität vorstellen?

Hier am Forschungszentrum Jülich arbeiten wir vor allem mit Bakterien. 1.000 Bakterien aneinandergereiht ergeben einen Millimeter. Jedes enthält ungefähr 1.000 chemische Substanzen und noch viel mehr Enzyme, die in der Zelle an die 800 Reaktionen in Gang setzen. Allerdings braucht es die meisten der Stoffe und Reaktionen nur, damit es sich in einer feindlichen Umwelt behaupten kann. In einem Fermenter lebt es jedoch wie im Paradies. Dort ist es schön warm, es gibt genug Luft, es herrscht normaler Druck und das Bakterium erhält reichlich Nahrung in Form von Zucker, Stickstoffquellen und Mineralstoffen.

»Mit Hightech-analytik dem Zellmechanismus auf der Spur.«

Dann wird es sich im „Paradies“ vor allem vermehren?

Die Molekularbiologen sorgen dafür, dass es tut, was wir wollen. Gemeinsam suchen wir wichtige Stellen im Stoffwechselnetzwerk, wo interessante Moleküle synthetisiert werden. Die Molekularbiologen schalten die entsprechenden Gene dann an oder aus, und die Bakterien produzieren L-Lysin oder ein anderes gewünschtes Molekül. Allerdings gibt es ein Problem: Bakterien verlernen auch rasch wieder. Denn sie teilen sich jede Stunde oder schneller und in der Generationenfolge sind die „Produzenten“ gegenüber den Zellen benachteiligt, die ihre Nähr-

stoffe nicht für das gewünschte Molekül, sondern für die Teilung einsetzen. Deshalb haben wir zusätzliche Techniken zur sogenannten Wachstumsentkopplung entwickelt.

Wie profitieren wir von den Fähigkeiten gentechnisch veränderter Mikroorganismen?

Denken Sie nur an die Antibiotika oder den großen Hoffnungsträger Herceptin: ein äußerst wirksamer Antikörper, der in bestimmten Brustkrebstherapien eingesetzt wird. Oder an Biomaterialien: Es gibt einige Möglichkeiten, dank Mikroorganismen aus Zucker Monomere zu machen, die man dann zu biologisch abbaubaren Polymeren, das heißt Kunststoffen, verarbeiten kann. Auch können wir Mikroorganismen beibringen, dass sie Moleküle zusammenbauen – wir sagen synthetisieren –, die sie aufgrund ihrer natürlichen genetischen Voraussetzungen gar nicht herstellen können. Hier liegt ein enormes Potenzial für neue Produkte. Und auch an biotechnischen Energieträgern wird gearbeitet. Aus Abfall Biogas zu machen, um daraus vor Ort Wärme oder Energie zu gewinnen, macht sehr viel Sinn. Allerdings sollte man nicht meinen, wir könnten mit solchen Energieträgern den weltweiten Bedarf an Primärenergie decken.

Sie sprechen das Thema Biosprit an?

Ja, in Ländern wie Brasilien ist es aufgrund des Klimas und der großen Landflächen sinnvoll, aus Zuckerrohr Ethanol zu produzieren. Damit kann man übrigens nicht nur Auto fahren. Ethanol ist auch ein wichtiger Chemierohstoff zur Herstellung des bekannten Kunststoffes Polyethylen. Wir werden zu einer mehr biobasierten chemischen Industrie kommen, in der das enorme deutsche Know-how in der chemischen Prozesstechnik auf eine neue Rohstoffbasis angewendet wird. Brasilien ist gut in den Bio-rohstoffen, wir hoffentlich besser in der Technologie – auf dieser Ebene sollten wir zusammenarbeiten.



Professor Dr. Harald zur Hausen

Harald zur Hausen wurde 1936 in Gelsenkirchen geboren und studierte Medizin. Für seine Leistungen auf dem Gebiet der Virologie erhielt er 2008 gemeinsam mit Françoise Barré-Sinoussi und Luc Montagnier den Nobelpreis für Physiologie oder Medizin. Von 1983 bis zu seiner Emeritierung 2003 war er wissenschaftlicher Direktor des Deutschen Krebsforschungszentrums in Heidelberg. Im Interview spricht Professor zur Hausen über den Zusammenhang von Krebs und Infektionskrankheiten und plädiert für eine Forschung, die diesen für uns alle wichtigen Problembereich undogmatisch angeht.

Nobelpreis für Medizin 2008

Professor Harald zur Hausen, Françoise Barré-Sinoussi und Luc Montagnier wurden 2008 für ihre Leistungen auf dem Gebiet der Virusforschung mit dem Nobelpreis für Physiologie oder Medizin ausgezeichnet. Die Ehrung ging an Françoise Barré-Sinoussi und Luc Montagnier für die Entdeckung des HI-Virus, an Harald zur Hausen für den Nachweis, dass Gebärmutterhalskrebs durch Virusinfektionen ausgelöst wird.

Den Zusammenhang von Gebärmutterhalskrebs mit Infektionen durch Papillomviren hatte Professor Harald zur Hausen bereits vor mehr als 30 Jahren vermutet. Diese Viren (englisch: human papilloma virus, kurz HPV) infizieren die äußersten Schichten der Haut und Schleimhäute, die Epithelzellen. Sie führen bei Frauen und Männern meist zur Bildung von harmlosen Warzen, manchmal aber auch zu bösarti-

gen Tumoren. Mittlerweile sind über 100 verschiedene Virustypen bekannt. Anfang der Achtzigerjahre des letzten Jahrhunderts gelang es Professor zur Hausen und seiner Arbeitsgruppe erstmals, die Typen HPV 16 und HPV 18 des Papillomvirus aus einer Gebärmutterhalskrebsprobe zu isolieren.

Inzwischen existieren aufgrund dieser Forschungen zwei verschiedene Impfstoffe gegen diese Virustypen. Papillomviren lassen sich im Labor nicht züchten. Mithilfe gentechnischer Methoden wurden deshalb Hüllen nach dem Vorbild des Virus konstruiert. Dabei war hilfreich, dass sich das Kapselprotein L1 des Erregers spontan zu leeren Virushüllen ohne Erbmateriale zusammenlagert. Die Hüllen sind als Impfstoff ideal, da sie wegen der nahezu identischen Struktur für das menschliche Immunsystem genauso Angriffsziele sind wie das echte Virus, jedoch keine gefährliche Infektion auslösen können.

**»»Den ersten
gezielten Impf-
stoff gegen Krebs
verdanken wir
der Gentechnik.««**

Professor Harald zur Hausen, Ihre Forschungen in Heidelberg ermöglichten die Entwicklung von Impfstoffen gegen Gebärmutterhalskrebs. Doch ausgerechnet in Deutschland hat sich jüngst Widerstand gegen diese Krebsvorsorge formiert. Können Sie das nachvollziehen?

Nein. Ich würde allen Kritikern raten, die jüngste Studie der Weltgesundheitsorganisation zu lesen, die zu einem klaren Ergebnis gekommen ist. Die Impfungen gegen bestimmte Typen von Papillomviren, die Gebärmutterhalskrebs auslösen können, sind inzwischen an mehreren Millionen Frauen erprobt worden. Sie verhindern wesentlich die Bildung der Krebsvorstufen und sind nicht riskanter als jede andere Impfung, die man Kindern seit Jahrzehnten verabreicht. Solche Impfungen gegen weit verbreitete Krankheiten sollten mit Nachdruck durchgeführt werden.

»Impfungen gegen weit verbreitete Krankheiten müssen mit Nachdruck durchgeführt werden.«

Dennoch nehmen die Impfraten in Deutschland ab. Was ist zu tun?

Wir brauchen dringend eine bessere Aufklärung, vor allem der Lehrer, des medizinischen Personals und sogar einiger Ärzte. Pro Jahr erkranken allein in Deutschland etwa 6.000 Frauen an Gebärmutterhalskrebs und etwa 140.000 Frauen müssen aufgrund von diagnostizierten Vorstufen operative Eingriffe über sich ergehen lassen. Impfstoffe kamen erst jüngst auf den Markt und von einer Infektion bis zur Krebserkrankung können über 20 Jahre vergehen. Wenn wir nun darauf warten, bis auch ein Impfschutz vor dem eigentlichen Krebs erwiesen ist,

nehmen wir 120.000 Krebsfälle in Kauf. Jeder sogenannte Experte sollte sich also gut überlegen, welche Stellungnahme er abgibt.

Wie sind Sie überhaupt auf die Idee gekommen, dass Papillomviren Gebärmutterhalskrebs auslösen könnten?

In meiner Studentenzeitszeit war bekannt, dass verschiedene Infektionserreger die Entstehung von Krebserkrankungen begünstigen und dass Bakterien ihre Zelleigenschaften verändern, wenn genetisches Material von gewissen Viren in sie eindringt. Das brachte mich damals dazu, auch die Entstehung von Krebszellen im Zusammenhang mit Viren zu sehen. Klären konnten wir die krebseregende Rolle der Papillomviren aber erst nach jahrzehntelanger Forschung und dank gentechnischer Methoden.

Sie verdanken Ihren Nobelpreis geradezu der Gentechnik?

Ja, die Viren mussten aus dem klinischen Material zuerst isoliert und kloniert und dann mithilfe weiterer molekularer Methoden in anderen Zellen nachgewiesen werden. Unser gesamtes Forschungsgebiet beruht experimentell auf solchen Verfahren. Noch in den Achtzigerjahren war die Gentechnik besonders in Deutschland hochgradig umstritten. Sie wurde – ähnlich wie Impfungen von manchen Impfgegnern – als willkürlicher Eingriff in die Natur begriffen. Inzwischen hat eine Fülle gentechnisch hergestellter Medikamente gezeigt, dass molekulare Methoden sich bewähren und segensreich sind. Der Widerstand konzentriert sich jetzt auf die Stammzellenforschung und gentechnisch veränderte Pflanzen und ich bin gespannt, wie sich auch diese Problematik entwickeln wird.

Wie entsteht eigentlich Krebs?

Wie wir heute wissen, geht Krebs grundsätzlich mit der Schädigung des Erbguts von Zellen einher, die dann nicht mehr den Signalen aus ihrer Umgebung gehorchen, sich verselbstständigen und zum Teil in das umliegende Gewebe hineinwachsen. Solche unterschiedlichsten Schädigungen am Zellerbgut haben bei 21 Prozent aller bekannten Krebsarten etwas mit Infektionen zu tun.

Infektionen, die alle nur von Viren herrühren?

Nein, auch Bakterien und Parasiten können Krebs auslösen. Das Bakterium *Helicobacter Pylori* beispielsweise spielt eine wichtige Rolle beim Magenkrebs oder ein speziell in Ägypten verbreiteter Parasit bei der Entstehung von Blasenkrebs. Infektionen sind mittlerweile zur zweitwichtigsten erkannten Krebsursache nach dem Tabakrauchen aufgerückt. Auch bei gewissen Leukämien, Lymphomen, Brustkrebs oder bei Dickdarmkrebs gibt es epidemiologische Hinweise, dass Infektionen mit im Spiel sein könnten. Derartige Fragestellungen bewegen uns hier in Heidelberg zurzeit sehr.

Von diesen drei Erregergruppen sind die Viren am wenigsten lang bekannt. Was fasziniert Sie an ihnen besonders?

Viren sind keine belebte Materie, sondern eigentlich Nukleinsäuren, die im Grunde genommen nur als Gene in einer Wirtszelle funktionieren. Dennoch fließen in der Virologie fast alle Bereiche der biologischen Forschung ineinander. Darüber hinaus werden immer wieder neue Viren entdeckt und niemand weiß, wie umfangreich die einzelnen Virusfamilien überhaupt sind. Würde ich von Ihrer Haut einen Abstrich nehmen, könnte ich eine größere Zahl von Papillomviren identifizieren – vielleicht sogar solche eines neuen Typs.

»21 Prozent aller bekannten Krebsarten haben etwas mit Infektionen zu tun.«

Wir Menschen sind sozusagen durchinfiziert?

Ja. Und wir produzieren kontinuierlich Papillomviren auf unserer Haut und unseren Schleimhäuten, wenn auch in sehr geringer Menge. Gerade diese Viren sind deshalb so erfolgreich, weil sie auf der Haut nicht von unserem Abwehrsystem behelligt und über Körper- und Sexualkontakte leicht übertra-

gen werden können. Auf der Haut entstehen in der Regel allenfalls harmlose Warzen, am Gebärmutterhals oder seltener auch am Penis können sie jedoch Krebs verursachen. Soweit wir wissen, übertragen sich humane Papillomviren aber nur von Mensch zu Mensch. Allerdings kennen wir ein Rinder-Papillomvirus, das auch Pferde befällt.

Die Virologie hält für uns noch einige Überraschungen bereit?

Davon bin ich überzeugt. Zu glauben, wir würden allein schon alle Viren kennen, die dem Menschen gefährlich werden können, wäre ein fundamentaler Irrtum. Dickdarmkrebs beispielsweise sieht man oft nur im Zusammenhang mit chemischen Substanzen, die beim Braten von Fleisch entstehen können. Dieser Sichtweise stelle ich eine andere Hypothese gegenüber. Es könnten auch die sogenannten Polyomaviren mitverantwortlich sein, mit denen Fleisch gelegentlich kontaminiert ist. Denn diese Viren stehen im Verdacht, tumorerzeugende Agenzien zu sein, und sind hitzebeständig.

Diese Arbeitshypothese verfolgen Sie zurzeit auch?

Ja. Wir müssen solche Problemkreise undogmatisch erforschen. Das freilich erfordert eine intensivere Förderung fundierter, langfristiger Forschungsvorhaben. Heute stehen vor allem junge Akademiker zu sehr unter Druck, schnellstmöglich Arbeiten zu publizieren. Grundlagenforschung erfordert jedoch einen langen Atem und die Freiheit, zwischendurch so querdenken zu dürfen, wie es mir als Nobelpreisträger heute vergönnt ist.

