



# Leibniz Nordost

Journal der Leibniz-Institute MV  
ISSN 1862-6335 Nr. 9-2009



## Forschung in Leibniz' Namen

INP: Lichtgeschwindigkeit und technische Präzision

FBN: Systembiologie für die Tiergesundheit

IOW: Fehmarnbelt – Entscheidungshilfe für Politiker

LIKAT: Katalyse für innovativen Wirkstoff

IAP: 50 Jahre Messung mesosphärischer Trends



# Editorial

## Liebe Leserinnen und Leser,

für dieses Heft verfolgten wir unter anderem die Spur von Gottfried Wilhelm Leibniz in Mecklenburg und stießen auf eine nette Geschichte. Anlass dazu gibt uns die Jahrestagung der Leibniz-Gemeinschaft in Rostock. Schauen Sie also mit uns auf die Anfänge der modernen Wissenschaft und gestatten Sie uns, ganz unbescheiden von einem Leibniz vor Leibniz zu sprechen, und zwar von Joachim Jungius. Es gab unter den deutschen Gelehrten im Grunde nur diesen einen, dem Leibniz sich geistig verwandt fühlte.

Es war Jungius, der Erfahrung und Vernunft zum Kriterium wissenschaftlicher Erkenntnis erhob und der durchdrungen war von der Idee, logisches Denken wie überhaupt alle geistige Auseinandersetzung mathematisch erklären und herleiten zu können. Gleich ihm meinte Leibniz erkannt zu haben, dass unser Denken im Grunde ein Rechenvorgang sei und unsere Sprache viel zu wenig exakt, um Verständigungsprobleme und -konflikte auszuschließen. So formalisierte Leibniz den Satz „Ohne Gott ist nichts“, indem er für Gott eine Eins und für das Nichts eine Null setzte. Daraus entstand das Dualsystem als einfache logische Symbolsprache, es bildet heute die operationale Grundlage der modernen Computertechnik.

Im aktuellen Heft unseres Magazins „Leibniz Nordost“ können Sie sich davon überzeugen, wie sehr wissenschaftliches Denken in den einzelnen Disziplinen heute auch mathematisches Denken bedeutet. Das betrifft nicht nur die Systembiologie, die diesmal den Versuch unternimmt, genetische

Phänomene bei Nutztieren mittels Muster, Algorithmen und mathematischer Netzwerke zu erklären. Auch die Kolleginnen und Kollegen anderer Fächer bedürfen des formalisierten logischen Denkens für den Erkenntnisgewinn: etwa bei der Messung extrem schneller Gasentladungen in Plasmen, bei der Modellierung von Strömungsmechanismen im Meer, bei der Feinabstimmung von Reaktionsbedingungen für chemische Vorgänge oder bei der Erkundung von anthropogenen Einflussfaktoren auf das Klima. Über all das lesen Sie in diesem Magazin.

Zu Zeiten Jungius' und Leibniz' war die Zahl der wissenschaftlichen Disziplinen noch recht übersichtlich, und die Mathematik gehörte anfangs überhaupt nicht dazu. Wem heute die Mathematik zuweilen überhand zu nehmen scheint, mag sich trösten. Dass wirklich alles menschliche Denken sich in Formeln packen ließe, ist weder erwiesen, noch ist es sehr wahrscheinlich. Zwar lässt sich die Welt mit Formeln beschreiben. Doch anders, als Leibniz und womöglich auch Jungius dies erträumt haben mochten, funktioniert sie eben nicht wie eine Rechenmaschine. Auch das ist übrigens die Erkenntnis eines Mathematikers. Aber das ist eine andere Geschichte. Sie soll ein andermal erzählt werden. Erkenntnis und Freude beim Lesen!

Viel Spaß bei der Lektüre!  
Die Redaktion „Leibniz Nordost“

## Inhalt

2	- Editorial
3	- Grußwort
4	- Thesaurus des menschlichen Geistes
6	- So schnell wie das Licht
8	- Netzwerk aus Genen
10	- Brücke oder Tunnel
12	- Wirkstoff mit dem richtigen Dreh
14	- Klimavariationen: unten wärmer, oben kälter
16	- Nachrichten
18	- Die Leibniz-Institute Mecklenburg-Vorpommerns
19	- Ein Standort macht sich stark: „Rostock's 11“, Impressum

**Titelbild:** Gottfried Wilhelm Leibniz, gestochen 1796 von Karcher. Aus dem Bestand der SUB Hamburg, P15 L23  
**Rückseite:** Plakat zu „Rostock's 11“. Zimmermann, vTI.

# Grußwort

60 Jahre Bundesrepublik Deutschland – das Jubiläumjahr 2009 bietet eine hervorragende Gelegenheit, uns die Erfolgsgeschichte unseres Landes zu vergegenwärtigen, in der sich Wissenschaft und Forschung als treibende Kraft erwiesen haben. Wissenschaftler, Forscher und Ingenieure verstanden es immer wieder, Kreativität und neue Ideen in Fortschritt, Wohlstand und mehr Lebensqualität umzusetzen.

Innovationskraft und Innovationen sind aber keineswegs selbstverständlich. Wenn wir in der globalen Wissensgesellschaft auch weiterhin in der ersten Liga mitspielen wollen, müssen wir investieren: nicht zuletzt in Institute, die für exzellente Grundlagenforschung und angewandte Forschung bürgen. Die Erfahrung lehrt: Solche Zukunftsinvestitionen machen sich bezahlt.

Seit der Wiedervereinigung hat sich der Nordosten Deutschlands zusehends einen Namen als Wissenschafts- und Forschungsstandort gemacht. Wesentlichen Anteil an dieser dynamischen Entwicklung haben die fünf Leibniz-Institute in Mecklenburg-Vorpommern. Ein guter Teil ihres Erfolgsrezepts beruht auf Kooperation – mit Universitäten und Fachhochschulen, mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Unternehmen in Mecklenburg-Vorpommern ebenso wie mit internationalen Partnern.



Angela Merkel  
Bundeskanzlerin  
Bundesrepublik Deutschland

Damit stehen diese Institute beispielhaft für das Selbstverständnis und die besondere Stärke der Leibniz-Gemeinschaft mit ihren deutschlandweit 86 Einrichtungen: Bündelung der Kräfte fördert die Forschungsleistung, Vernetzung erleichtert den Wissensaustausch und beflügelt die Innovationskraft.

Im Sinne dieser Maxime wünsche ich den Leibniz-Instituten in Mecklenburg-Vorpommern weiterhin viel Erfolg und der Leibniz-Gemeinschaft eine gelungene Jahrestagung.

A handwritten signature in black ink that reads "Angela Merkel".

# Thesaurus des menschlichen Geistes

Zu den Vorbildern von Gottfried Wilhelm Leibniz zählt Joachim Jungius, mit dessen Namen Rostock fest verbunden ist. Das ist die wichtigste Spur von Leibniz nach Mecklenburg. Aber nicht die einzige.

Von Dietline Lau und Regine Rachow

Im Frühjahr 1675 erhält Leibniz, 29-jährig, den Auftrag zu einem Gutachten in einem delikaten Fall. Herzog Christian von Mecklenburg, der am Hofe von Versailles lebt, will sich von seiner zweiten Frau, einer Französin höchsten Standes, scheiden lassen. Schon die Trennung von seiner ersten Frau war kompliziert gewesen und lange nicht anerkannt worden, und so lässt der Herzog den Fall zunächst juristisch prüfen.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) ist ja Doktor der Rechte, schon die Promotion des damals 21-jährigen hatte Aufsehen erregt. Doch statt die sichere Professur anzutreten, die ihm angeboten worden war, zog es den jungen aufstrebenden Geist in die Politik, an die Höfe, um Herrscher nach „den Regeln der Vernunft“ zu beraten. Nach Paris kam er 1672 als Hofrat des Mainzer Kurfürsten. Mit seinem „Ägyptischen Plan“ wollte der junge Leibniz Ludwig XIV. von seinen Eroberungsgelüsten in Europa ablenken und ihm Ägypten als militärisches Ziel schmackhaft machen. Die diplomatische Mission scheiterte. Und als in Paris seine Finanzen knapp werden,



Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). Gemälde um 1700 von Johann Friedrich Wenzel d. Ä. Quelle: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.

sieht Leibniz sich nach Aufträgen um und schreibt nun für Christian von Mecklenburg ein juristisches Gutachten. Um das Ergebnis vorweg zu nehmen: Der Fürst wird nicht sehr zufrieden sein damit und dem Autor nur die Hälfte des vereinbarten Honorars überweisen.

Fünf Jahre lang ist Paris Leibniz' „geistige Heimat“, wie er später einmal bemerkt. In Paris entwickelt er sich zum universalen Gelehrten, auch zu einem bedeutenden Mathematiker, der sich im Sturmlauf die neueste Mathematik an-

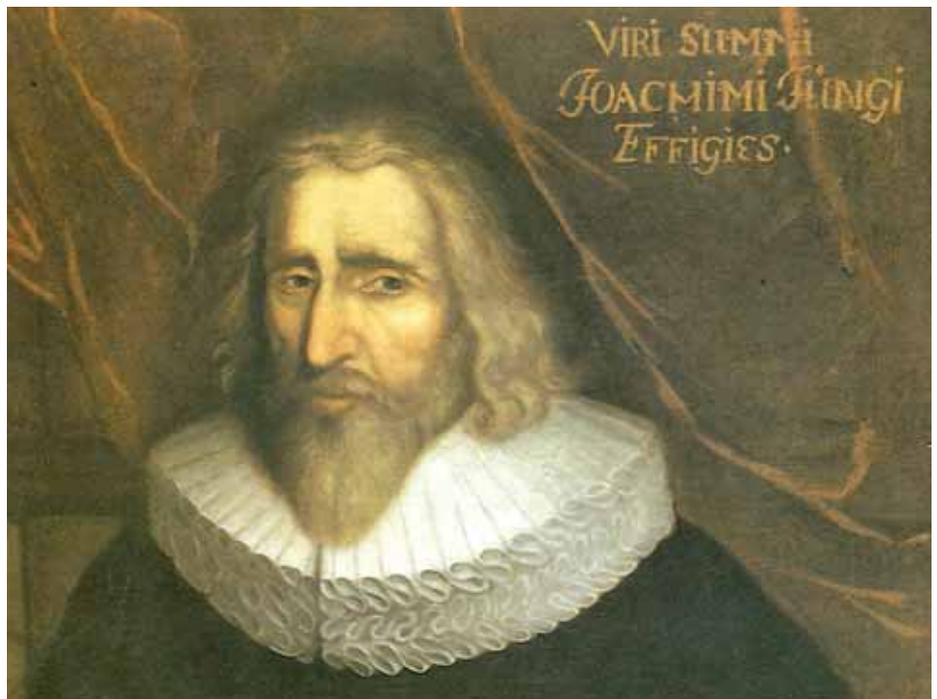
eignet und seine Idee von einer allgemeinen Begriffsschrift auf die damalige umständliche und nicht einheitliche Mathematik anwendet. Wenngleich Leibniz nicht alle seine Ideen in seiner Pariser Zeit publiziert, legt er jedoch um 1675 die Grundlage zu dem, was wir heute Differential- und Integralrechnung nennen. Zusammen mit Isaac Newton, der unabhängig von ihm zu ähnlichen Ergebnissen gelangte, gilt Leibniz zu Recht als Wegbereiter der Analysis, ohne die heute keine Physik oder Technik mehr vorstellbar ist.

Das 17. Jahrhundert ist das Jahrhundert der Mathematik. Es erfolgt ein radikaler Umbau der Mathematik sowohl in der Zielsetzung als auch in den Methoden, weg von der Mathematik der konstanten Größen, hin zur Mathematik der variablen Größen. Genauer geht es um die Verschmelzung geometrischer und algebraischer Methoden sowie um das Entstehen funktionaler Denkweisen mit einem unvergleichlich größeren Anwendungsbereich als die Mathematik davor. Erste Rechenmaschinen werden gebaut. Mathematiker beginnen über Wahrscheinlichkeitsrechnung nachzudenken. Dieser Umbruch ist verbunden mit Namen von Männern wie Galilei, Kepler, Fermat, Descartes, Wallis, Newton, Leibniz, Jacob und Johann Bernoulli.

Weniger bekannt, und zwar sehr zu unrecht, ist Joachim Jungius (1587-1657), Sohn einer Lübecker Professorenfamilie, der lange Zeit in Rostock wirkte und einer der ersten und mutigsten Kämpfer gegen die kritiklose Annahme der aristotelischen Naturlehre war. Alexander von Humboldt sprach in hohen Tönen von ihm als dem „verkannten Jungius“. Goethe interessierte sich für dessen botanische Arbeiten und wollte kurz vor seinem Tode eine Jungius-Biografie schreiben. Leibniz sah in Jungius seinen Geistesverwandten und würdigte ihn entsprechend. Dies vor allem ist die Spur, die Leibniz mit Mecklenburg verbindet.

Jungius hat nicht viele seiner Ideen veröffentlicht beziehungsweise die Veröffentlichung seinen Schülern überlassen, die seine Schriften auch nach seinem Tode herausgaben und Interessenten (unter ihnen Leibniz) zugänglich machten. Seine einzige größere publizierte Schrift ist die *Logica Hamburgensis* von 1638, das bedeutendste Werk dieser Art im 17. Jahrhundert.

Jungius Nachlass ist zu entnehmen, dass er das alte Weltbild komplett in Frage stellte und für die freie Forschung auf dem Gebiet der Naturwissenschaften eintrat. Er gehörte zu den ersten Professoren, die Experimente in Physik



Joachim Jungius (1587-1657). Unbekannter Künstler.  
Quelle: Gemäldesammlung SUB Hamburg

Vorlesungen durchführen, und er war durchdrungen von der Idee, logisches Denken und wissenschaftliche Erkenntnisse mit mathematischen Methoden zu beschreiben. Leibniz schreibt als 20-jähriger Magister über Jungius: „... hätte er doch bloß seine gesamte Logik publiziert, wir besäßen eine Art Thesaurus des menschlichen Geistes“. Auch später nennt er Jungius in einem Atemzug mit Kepler, Galilei, Bacon und Descartes. Er meint auch, bei Jungius vieles besser erklärt zu finden als bei René Descartes.

Sein geistiges Fundament legte Joachim Jungius in Rostock, an der ältesten Universität Nordeuropas, wo er 1606 seine Studien begann. Die humanistischen Fächer wurden dort auf einem hohen Niveau gelehrt. Ab 1618 war Jungius in Rostock Privatgelehrter, ab 1624 dann Professor für Mathematik, und zwar mit kurzen Unterbrechungen bis 1629, dann ging er – kriegsbedingt – nach Hamburg. Jungius beherrschte die modernste Mathematik und verbreitete sie. Er widerlegte Galileis Vermutung, wonach die so genannte Kettenlinie eine Parabel ist. Diese Linie wird zum Beispiel von einem Seil beschrieben, das frei durchhängt. Leibniz beruft sich später darauf, löst das Problem und benutzt die Kettenlinie für die Quadratur von Hyperbelsegmenten. Damit ist ein aus der Antike bekanntes mathematisches Problem gelöst.

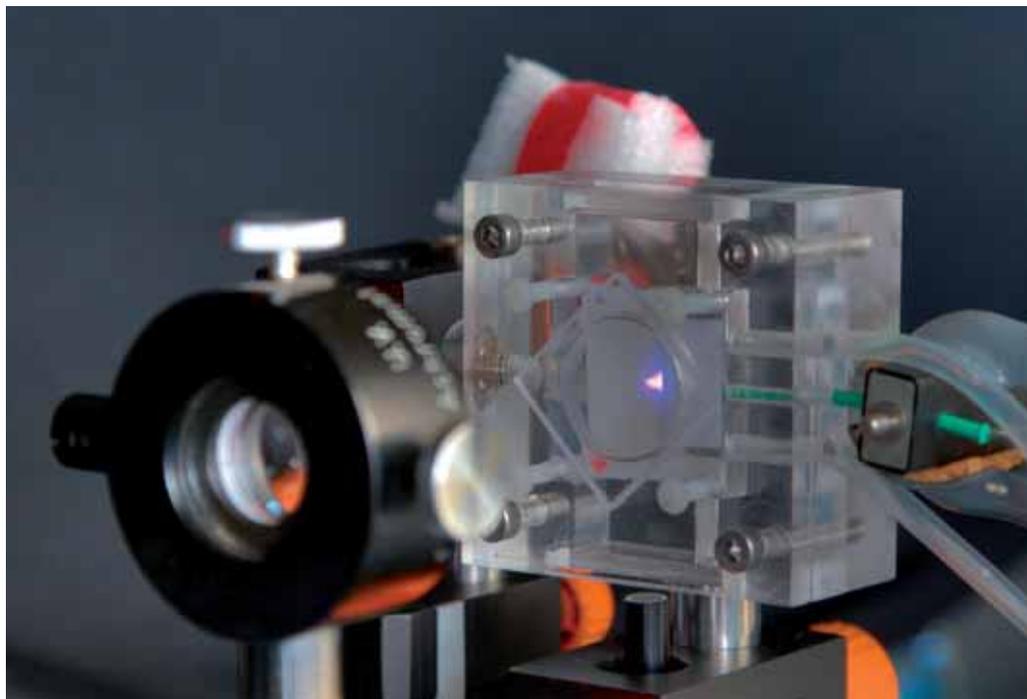
1622 gründete Joachim Jungius in Rostock mit der *societas heuretica* die

erste Wissenschaftsakademie nördlich der Alpen. Inspiriert war dies durch ähnliche Gründungen in Italien, die Jungius bei seinem Aufenthalt in Padua 1618/19 kennen lernte, wo er zum Doktor der Medizin promovierte. Wie später Leibniz wollte Jungius mit Gleichgesinnten „die Wahrheit aus der Vernunft und der Erfahrung“ erforschen. Jungius wurde damit zum würdigen Vordenker für Gründungen in Halle (1652, Leopoldina), in London (1662) und Paris (1666) und schließlich auch in Berlin und St. Petersburg, wo 1700 bzw. 1724 eigenständige Akademien entstehen – und zwar auf Betreiben und nach den Ideen von Gottfried Wilhelm Leibniz.

Der Lebensunterhalt in Paris bleibt für Leibniz ein mühevolleres Unterfangen. 1676 tritt er in den Dienst der Welfen und zieht als Hofrat und Hofbibliothekar nach Hannover. Einen Moment lang wollen wir uns vorstellen, der junge Leibniz wäre mit seinem juristischen Gutachten bei seinem Auftraggeber aus Mecklenburg erfolgreich gewesen. Die Wissenschaftsgeschichte wäre vermutlich nicht anders verlaufen. Doch wir könnten ein bisschen stolz darauf sein, einen großen Gelehrten ins Land gezogen zu haben. Wir sehen im Geiste ein Leibnizdenkmal auf dem Rostocker Universitätsplatz. Und weisen Joachim Jungius in der Geschichte des Geistes und der Wissenschaften jenen Platz zu, der ihm zukommt: als einem Leibniz vor Leibniz.

# So schnell wie das Licht

Forscher am INP messen den millionsten Bruchteil einer millionsten Sekunde:  $10^{-12}$  s.



Zählt einzelne Photonen: Entladungszelle mit Mikroplasma.  
Foto: Manuela Glawe

## Von Liane Glawe

Picosekunde,  $10^{-12}$  s – dieses Fachwort für den millionsten Bruchteil einer millionsten Sekunde liefert nur eine blasse Vorstellung von der Kürze der Zeitspanne, die für Physiker, Ingenieure und Techniker am Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. (INP) von außerordentlichem Interesse ist. Eine Picosekunde, eine billionstel Sekunde also, steht im gleichen Verhältnis zu einer vollen Sekunde wie diese zu rund 32.000 Jahren. Fünf hundertstel Sekunden ( $10^{-2}$ ) beträgt beispielsweise das optische Auflösungsvermögen des Menschen. Ereignisse, die für das Auge schneller aufeinanderfolgen, nimmt es als ineinanderfließend wahr. Darauf beruht auch der Effekt der „Animation“, also des Films.

Der Physiker Ronny Brandenburg begann im Juli 2008 zusammen mit seinem Team am INP Greifswald mit dem Aufbau eines superschnellen Messplatzes. Herzstück dieses Apparates sind optische und spektroskopische Verfahren, mit denen die Grundlagen von Gasentladungen untersucht werden, die u. a. bei der chemischen Dekontamination von Gasen und Gerüchen, z. B. beim Abbau

von VOC (flüchtigen organischen Verbindungen), von maßgeblicher Bedeutung sind. Die einzigartigen Eigenschaften von Plasmen sind heutzutage Grundlage für viele technische Anwendungen und leisten unverzichtbare Dienste beispielsweise für die (Vor-) Behandlung von Oberflächen.

Nicht-thermische Plasmen bei Atmosphärendruck sind neben der Oberflächenmodifikation und dem Schadstoffabbau auch für biomedizinische Anwendungen, z. B. für die Wundheilung, interessant. Häufig sind diese Plasmen jedoch filamentiert, das bedeutet: Sie bestehen aus kurzen Mikroentladungen, welche kurzlebig und klein sind. Die Natur dieser Mikroentladungen ist noch nicht ausreichend erforscht, deren Kenntnis jedoch für die Optimierung ihrer Anwendung Voraussetzung.

Der außergewöhnliche Messplatz am INP Greifswald verfügt über vier verschiedene Messmethoden und ist mit seinen Möglichkeiten der zeitlichen und räumlichen Auflösung wohl weltweit einzigartig. „Uns ist jedenfalls kein anderer Messplatz bekannt“, sagt Ronny Brandenburg, Abteilungsleiter Plasma-

quellen, „mit dem Mikroentladungen mit der hier erreichten zeitlichen (100 Picosekunden) und räumlichen Auflösung von zehn Mikrometern, das sind millionstel Meter, untersucht werden können.“

Der Messplatz ist mit einer schnellen Kamera und einem Feldmikroskop ausgerüstet, das die kleinen Mikroentladungen um das 200-fache vergrößert und sehr präzise darstellt. Mit speziellen Stromsonden gemessene Strompulse zeigen, wie viel Energie in einer einzelnen Mikroentladung steckt, und können über die Zahl der Ladungsträger (Elektronen und Ionen) darin Aufschluss geben. Mit der Emissionsspektroskopie wird das Licht der Mikroentladung in seine spektralen Bestandteile (Farben) zerlegt. Die zeigen den Wissenschaftlern, welche Moleküle in der Mikroentladung zum Leuchten angeregt werden und damit einen weiteren diagnostischen Zugang ermöglichen. Denn in jedem Gas leuchten die Mikroentladungen in anderen Farben, was mit den Elementarprozessen und Eigenschaften des jeweiligen Gases zusammenhängt.

Die Mikroentladungen sind so lichtschwach, dass einzelne Photonen (Licht-

teilchen) gezählt werden müssen, um ihre zeitliche und räumliche Entwicklung beobachten zu können. Diese Zählung der Photonen mit hoher Zeit- und Ortsauflösung ist sehr aufwendig und erfordert erhebliche Präzision.

Die Untersuchung von Mikroentladungen mit Verfahren der zeitkorrelierten Einzelphotonenzählung wurde erstmalig 1988 in Japan und Russland vorgenommen. Durch eine Kooperation zwischen Kirill V. Kozlov von der Lomonossow-Universität in Moskau und Hans-Erich Wagner von der Universität Greifswald im Rahmen eines Sonderforschungsbereiches kam die Methode nach Greifswald. Ronny Brandenburg, damals noch Student, stieß 1999 zum Team von Hans-Erich Wagner, seinem späteren Doktorvater. Er lernte bei ihm und Kozlov die Methodik eingehend kennen. Einige Jahre später, inzwischen am INP Greifswald tätig, verfeinerte und optimierte er zusammen mit Tomáš Hoder in der Abteilung Plasmaquellen die Technik und baute den außergewöhnlichen Messplatz auf.

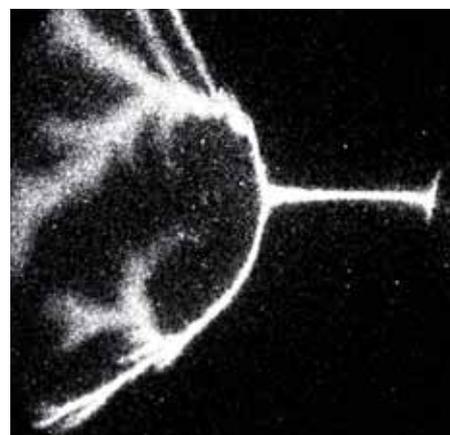
Der Messplatz wird am INP größtenteils für die Grundlagenforschung eingesetzt, darunter auch für gemeinsame Projekte mit der Greifswalder Universität. Jedoch werden auch industrielle Anwendungsmöglichkeiten verfolgt. Große Potenziale werden beispielsweise in den plasmamedizinischen Anwendungen und in den Oberflächenbehandlungen gesehen. Weiterhin ist der Geruchsabbau im Lebensmittelsektor im Fokus der industrienahen INP-Forschung. Ein Augenmerk des jungen Wissenschaftlers Ronny Brandenburg liegt auch auf dem Einsatz von Plasmen bei der Erzeugung von Ozon, zum Beispiel für die Wasseraufbereitung oder zum Bleichen von Papier. Diese Technologie ist bereits 150 Jahre alt und beruht auf den Forschungsarbeiten von Werner von Siemens. Doch die derzeit verwendete Technik, so genannte Ozonisatoren, liegen noch immer unter ihren erreichbaren Möglichkeiten hinsichtlich ihrer Effizienz, d. h. der Menge an erzeugtem Ozon pro eingespeiste Kilowattstunde.



Ronny Brandenburg und Diplomand Helge Grosch beim Justieren der Entladungszelle.  
Foto: Manuela Glawe



In dieser Entladungszelle wurde die Mikroentladung in Argon gezündet.  
Foto: Tomáš Hoder



Mikroentladung in Argon zwischen zwei runden Elektroden. Rechts: Metallelektrode, links: Barriereelektrode, der Abstand zwischen ihnen beträgt ein Millimeter. Belichtungszeit der Kamera beträgt 1,5 Mikrosekunden.  
Foto: Tomáš Hoder

Die derzeitigen Mittel aus der Grundfinanzierung reichen natürlich bei Weitem nicht für den Einsatz und die Weiterentwicklung dieses einzigartigen Messplatzes aus. So werden beispielsweise aus dem „ForMat“-Projekt InnoPlas Personalgelder und Sachmittel in Höhe von rund 80.000 Euro zur Verfügung gestellt. InnoPlas ist ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Projekt. Der hoch spezialisierte Messplatz kommt hier für das Innovationslabor zum Einsatz. Modellierer und Theoretiker am INP Greifswald simulieren mit spezieller Software Prozesse, wie sie bei der Ozonerzeugung oder dem Schadstoffabbau eine Rolle spielen. Am Messplatz wer-

den dann Messungen durchgeführt, die prüfen sollen, ob die zuvor berechneten Modelle realistische Voraussagen treffen. Viele der zu beschreibenden Vorgänge laufen nämlich gerade in den kurzen Zeitspannen von nur wenigen hundert Picosekunden ab. Gerade kurz genug für das Team am Messplatz.

# Netzwerk aus Genen

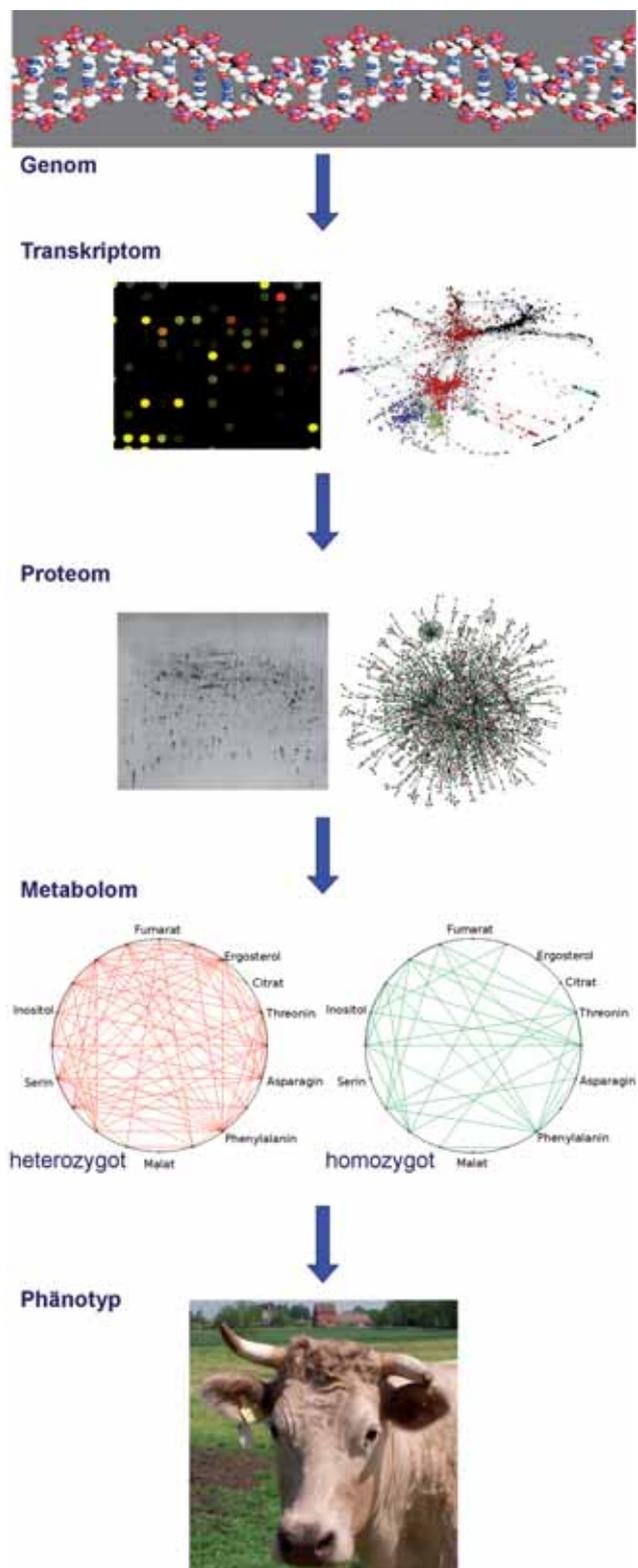
Bei den Systembiologen geht es sehr mathematisch zu. Wie bedeutsam sind ihre Erkenntnisse für die Nutztierforschung?

## Von Dirk Repsilber

Jeder macht heute Systembiologie. Es ist ja auch zu offensichtlich, dass in der Biologie und speziell auch in der Molekularbiologie irgendwie alles mit allem zusammenhängt. Auch werden zunehmend in nahezu allen biologischen Disziplinen Hochdurchsatzdaten von allem erhoben, was der Maschinenpark zu analysieren in der Lage ist: Gene und Genmarker, Proteine oder Zwischenprodukte im Stoffumsatz von Zellen. Die Frage jedoch, wie nützlich die Systembiologie bei der Erforschung der Nutztiere ist, muss mit einem „Das kommt darauf an“ beantwortet werden.

Worin besteht der „systembiologische Ansatz“? In der Systembiologie geht es um die Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen molekularen Einheiten für das Verständnis biologischer Vorgänge, vor allem auf der Ebene der Genfunktionen. Das Besondere des systembiologischen Ansatzes soll an einem Beispiel verdeutlicht werden: Welche Gene werden bei Kühen, die empfindlich oder unempfindlich gegen Mastitis sind, unterschiedlich reguliert? Das ist im obigen Sinn noch keine Systembiologie. Eine solche Analyse ist im Grunde nur ein Screening, welches mit den Methoden der Bioinformatik ausgewertet wird. Das Ergebnis ist eine Aussage über einzelne Gene und deren möglicherweise differentiell regulierte Expression.

Der systembiologische Ansatz nun zielt auf eine andere Dimension: Hängen die gemessenen Werte verschiedener Gene zusammen? Eventuell kann eine regulatorische Interaktion postuliert oder ein charakteristisches Muster gefunden werden. Anders herum kann auch Vorwissen über biologische Interaktionen in eine Auswertung einfließen, die dann

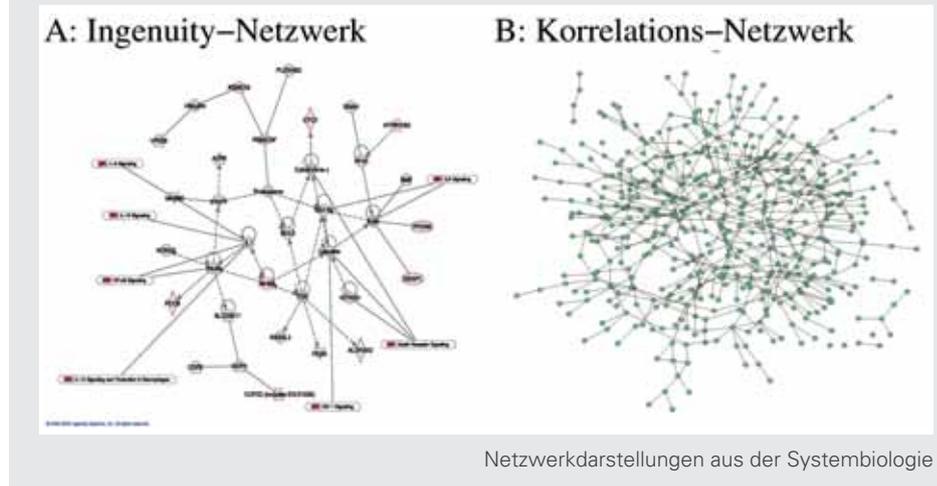


Ebenen der Genexpression in der Molekularbiologie – vom Genotyp zum Phänotyp. Auf dem Wege von der genetischen Information (DNA-Sequenz) zum äußerlich messbaren Merkmal (Phänotyp) sind mehrere Ebenen mit verschiedenen molekularen Spezies beteiligt.

einen systembiologischen Charakter aufweist. Die beiden Abbildungen A und B stellen den Kern beider Ansätze dar. Es wurde die in der Systembiologie übliche Darstellung von Interaktionen als Netzwerke gewählt.

Abbildung A zeigt eine Gruppe von Genen mit spezifischer gemeinsamer Funktion im Bereich der Immunbiologie. Eine große Sammlung solcher regulatorischer Netzwerke ist bereits in aktuellen Datenbanken enthalten. Diese Informationen lassen sich auch für eine systembiologische Auswertung von Daten zur Genaktivität bei Nutztieren verwenden. Hierfür existiert eine Vielzahl spezieller Algorithmen. Dabei wird differentielle Regulation als gemeinsames Merkmal aller einem Netzwerk zugehörigen Gene betrachtet, unabhängig davon, ob die differentielle Regulation in diesem Experiment bei jedem einzelnen Gen nachgewiesen werden kann. Genau darin liegt die Stärke dieser Herangehensweise, denn um differentielle Aktivität einzelner Gene zu zeigen, ist ansonsten eine aufwendigere Studie mit sehr vielen Tieren nötig.

Abbildung B zeigt ein sogenanntes Relevanz-Netzwerk. Es beruht auf den 50 Prozent größten Korrelationen des oben erwähnten Genexpressions-Experiments. Auch hier sind kleine und mittelgroße Netzwerke zwischen den Genen erkennbar, nur stellen diese eben keine Vorinformation dar, sondern sie wurden aus den Daten selbst gewonnen. Oft geben solche Netzwerke Anlass zur Untersuchung mit einer Vielzahl graphentheoretischer Methoden. Häufig lassen sich bei solchen Untersuchungen Gruppen ko-regulierter Gene entdecken. Die auf diese Weise aus den Daten gelesene Information über eine gemeinsame Regulation einer Gruppe von Genen – zum Beispiel bezüglich der Mastitis-Empfindlichkeit – kann Aufschluss über gemeinsame Funktionen der Einzelgene geben. Zum anderen kann es sich um eine sogenannte Biomarker-Signatur handeln, also ein Muster, dessen Vorhandensein für den Unterschied zwischen den beiden Gruppen von Kühen aus unserem Experiment charakteristisch ist. Biomarker-Signaturen findet man durch Anwendung spezieller Algorithmen, die auf das Erkennen und Lernen von aus mehreren Genen zusammengesetzten Mustern ausgerichtet sind. Diese Methoden stel-



Netzwerkdarstellungen aus der Systembiologie

len den vorherzusagenden Phänotyp bei der Mustersuche in den Vordergrund.

Die beschriebenen Ansätze tragen schon einen gewissen systembiologischen Charakter. Die wirklich systemweite Herangehensweise jedoch kann nicht auf genomweite Analysen der Muster einer molekularen Ebene beschränkt bleiben. Ebenso muss sie die verschiedenen Gewebe und in diesen die verschiedenen Zelltypen berücksichtigen. Nur aus deren Zusammenspiel ergeben sich die messbaren phänotypischen Unterschiede, die man gerne verstanden hätte. Neuere systembiologische Ansätze versuchen daher, die verschiedenen Ebenen zu integrieren, um zum Beispiel Mastitis-Toleranz-Signaturen zu finden, die sich aus molekularen Markern zusammensetzen. In der Züchtung wird nach Verbesserungen der Verfahren für die genomischen Selektion gesucht, wobei bekannte Strukturen regulatorischer Netzwerke und Erhebungen funktionaler Daten (Genexpression, Protein- oder Metabolitpiegel) genutzt werden sollen.

Damit scheint die zweite der eingangs gestellten Fragen beantwortet. Doch was war gemeint mit dem „Das kommt darauf an“? Bei Projekten, für die eine systembiologische Auswertung geplant ist, bestehen besondere Anforderungen an das experimentelle Design. Diese Analysen benötigen unter anderem eine Mindestzahl von Beobachtungen. Außerdem müssen die Daten der verschiedenen molekularen Ebenen an denselben Individuen erhoben werden. Zudem muss in Studien, die über die Detektion von Biosignaturen hinaus auch auf die Aufklärung biologischer Zusammenhänge ausgerichtet sein sollen, zusätzlich nach Geweben unterschieden und auf potentielle Änderungen

der Zelltyp-Zusammensetzung geachtet werden.

Experten erwarten von der systembiologischen Analyse Erkenntnisse über die Entstehung und für die Behandlung wichtiger Krankheiten wie AIDS/HIV oder Krebs. In der Nutztierforschung erhofft man sich durch den Einsatz systembiologischer Methoden ein besseres Verständnis der Variation in Leistungs- und Funktionsmerkmalen und auf molekulare Marker, Biosignaturen, welche in der Zucht gewinnbringend eingesetzt werden können.



In der Arbeitsgruppe Biomathematik und Bioinformatik des FBN Dummerstorf werden systembiologische Ansätze bioinformatischer Auswertungen in aktuell fünf Drittmittelunterstützten Projekten zu Nutztier- und medizinisch relevanten Fragestellungen verfolgt. Beteiligt sind insgesamt 8 Wissenschaftler, darunter drei Doktoranden. Auf dem Foto (von rechts): AG-Leiter Dirk Repsilber, die Doktorandinnen Sandra Andorf (sitzend) und Anna Telaar, Post-Doc. Norbert Poschadel. Illustrationen: FBN



# Brücke oder Tunnel

**Beste Wissenschaft für schwierige Entscheidungen: Eine feste Fehmarnbelt-Querung mit möglichst geringen Auswirkungen auf das Ökosystem Ostsee wird gesucht.**



Die Große-Belt-Brücke - wird sie bald eine Schwester über den Fehmarnbelt bekommen?  
Foto: R. Prien

## Von Barbara Hentzsch

Seit dem 18. Juni 2009 ist es amtlich: Der Bundestag ratifizierte den Staatsvertrag mit Dänemark, in dem beide Staaten sich darauf verständigen, gemeinsam eine feste Querung über den Fehmarnbelt zu bauen. Ob es ein Tunnel oder eine Brücke wird, ist noch fraglich. Wie bei allen Baugeschehen im Meer sind umfangreiche Umweltverträglichkeitsprüfungen erforderlich. Zuvor ist die Wissenschaft gefragt, denn noch ist die „Datendecke“ zu dünn für belastbare Aussagen zu den kurz- und langfristigen Auswirkungen einer Querung.

Als der größere Eingriff in die Meeresumwelt gilt eine Brücke. Im Rahmen einer öffentlichen Ausschreibung suchte das dänische Staatsunternehmen Femern Bælt A/S bereits im letzten Jahr nach Experten, die sowohl durch Messungen als auch mit Modellen eine möglichst detaillierte Erfassung des ozeanographischen Ist-Zustandes erarbeiten. Die Ozeanographen des IOW bewarben sich gemeinsam mit dänischen und deutschen Partnern unter der Federführung der dänischen Einrichtung DHI (Danish Hydraulic Institute) um die Aufgaben Ozeanographie, Mo-

onitoring, Modellierung sowie Teilaspekte zur Meeresbiologie und erhielten im Dezember 2008 den Zuschlag.

Im hoch dynamischen Bereich der westlichen Ostsee kommt es je nach Windrichtung und Wasserstanddifferenzen zwischen Nord- und Ostsee zu unterschiedlichen Verhältnissen von oberflächennahem Brackwasserausstrom zu bodennahem Salzwassereinstrom in die Ostsee. Das Ziel der Arbeiten in den nächsten 2,5 Jahren ist es, in höchstmöglicher Auflösung Strömungsmuster sowie typische Ein- und Ausstromsituationen zu erfassen. Das Rückgrat der Untersuchungen ist eine umfangreiche Datenerhebung mit zwei automatischen Messstationen auf der geplanten Trasse zwischen Fehmarn und Lolland sowie einer weiteren in der nahe gelegenen Mecklenburger Bucht (siehe Karte).

Siegfried Krüger, Leiter der Arbeitsgruppe Messtechnik am IOW und verantwortlich für den Aufbau und die Betreuung des Messnetzes automatischer Stationen, verfügt über langjährige Erfahrung: Für das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie entwickelte sein Team neue Bojensysteme und betreut seit 1992 drei

Dauerstationen in der Ostsee. Die drei neuen Haupt-Stationen im Fehmarnbelt sind als 10 m lange Spierenbojen gestaltet. In bis zu 14 unterschiedlichen Wassertiefen, alle 2 m bis zum Meeresboden, tragen sie Sensoren, die rund um die Uhr den Salzgehalt und die Temperatur sowie in ausgewählten Horizonten Sauerstoff, Trübung und Chlorophyll-Fluoreszenz messen. Die Stationen registrieren alle 10 Minuten und übertragen ihre Daten stündlich an das DHI und das IOW. Jede Station ist außerdem mit einem am Boden verankerten so genannten Acoustic Doppler Current Profiler ausgestattet, der kontinuierlich ermittelt, in welcher Richtung und mit welcher Geschwindigkeit die Wassermassen die Position des ADCP passieren. Parallel werden Wellenhöhe, Seegangrichtung und -stärke erfasst.

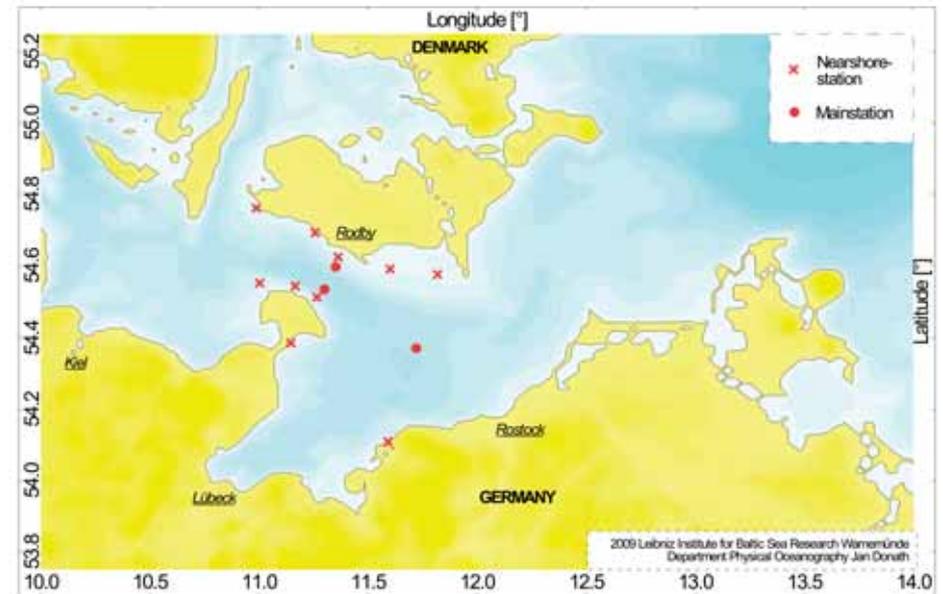
Das gesamte Messnetz aus drei Hauptstationen und 10 weiteren küstennahen Verankerungen zur Trübungsmessung ist in rekordverdächtigter Zeit von 6 Monaten entwickelt, errichtet und in Betrieb genommen worden. Einmal im Monat werden zusätzlich mit dem Schiff JHC MILJÖ in einem Gebiet zwischen Lan-

geland Belt und Darßer Schwelle 110 Stationspunkte abgefahren. Neben den ozeanographischen Standardmessungen wird der Gehalt an Nährstoffen und organischer Substanz gemessen und die Zusammensetzung des Zooplanktons dokumentiert. Hinzu kommen zweimal im Jahr Spezialfahrten mit geschleppten Messgeräten, die auf ausgewählten Schnitten kontinuierlich Turbulenzparameter und Strömungen erfassen.

Nach Abschluss der Arbeiten wird das Gebiet zwischen Lolland und Fehmarn zu den am besten untersuchten der Welt gehören. Volker Mohrholz, verantwortlich für die ozeanographischen Messkampagnen: „Das Gebiet ist eine Schlüsselregion für den Wasseraustausch zwischen Nord- und Ostsee und damit auch für die Sauerstoffversorgung des Tiefenwassers in der Ostsee. Dadurch sind diese Untersuchungen auch für die Forschung von immenser Bedeutung.“ Zur Bedingung des IOW zählte deshalb die weitere Nutzung der Daten über das Projekt hinaus. Mohrholz lobt in diesem Zusammenhang die Informationspolitik von Femern Bælt A/S: „Alle Daten werden der Forschung zugänglich gemacht und die Auftraggeber begrüßen die Veröffentlichung unserer Ergebnisse in wissenschaftlichen Journalen.“

Die ersten Datensätze werden bereits jetzt von den Modellierern für Strömungsmodelle genutzt. Die Messwerte der einzelnen Gruppen sorgen dabei für eine kontinuierliche Verbesserung und Überprüfung der Modelle, die wiederum deutlich machen, wo zusätzliche Messungen notwendig werden.

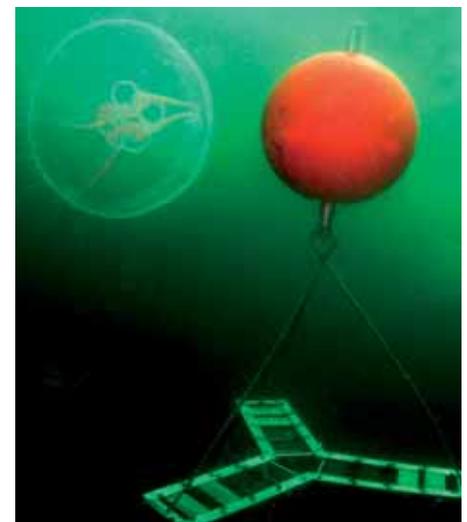
Auch im Projektbereich Meeresbiologie ergänzen sich wissenschaftliche Neugier und der Auftrag zur Erfassung eines Ist-Zustandes in idealer Weise. Lutz Postel, Koordinator der im IOW angesiedelten meeresbiologischen Untersuchungen im Fehmarnbelt-Projekt: „Durch die umfangreiche monatliche Beprobung des Zooplanktons entsteht ein einzigartiges Gesamtbild, das nicht nur den Jahresgang in der Verbreitung der 20 bis 25 häufigsten Zooplanktonarten in der westlichen Ostsee wiedergibt, sondern auch



Informationen darüber liefert, wie groß der Zustrom potentieller Einwanderer in die Ostsee ist.“ Daneben gehören natürlich auch detaillierte Bestandsaufnahmen der Besiedlung des Meeresbodens zu den Untersuchungen. Schließlich liegen besonders schützenswerte Natura-2000-Gebiete in der Nähe der geplanten Querung.

Mit im Untersuchungspaket sind auch die potentiellen Auswirkungen auf einheimische Quallen. Bislang war es eine offene Frage, wo die bei uns sehr häufige Ohrenqualle während ihres Polypenstadiums lebt. Die meisten Quallen durchlaufen sowohl ein „sesshaftes“ Stadium als Polyp, als auch ein frei schwebendes Medusenstadium. Von den auf hartem Grund fest sitzenden Polypen schnüren sich die kleinen Medusen ab und lassen sich mit der Strömung transportieren. In der südlichen Ostsee herrschen jedoch „weiche“ sandige Böden vor. Können Bauwerke wie eine Brücke vom Ausmaß einer Fehmarnbeltquerung die Siedlungsbedingungen für die Polypen so sehr begünstigen, dass mit einer Zunahme an Quallen gerechnet werden muss? Die Meeresbiologin Sandra Kube ist für ein besonderes Experiment zuständig: „Wir haben an einigen der neuen Dauerstationen Bewuchsplatten aus Unterwasserbeton und Plexiglas angebracht. Ende September schauen wir zum ersten Mal nach, ob sich Polypen festgesetzt haben.“ An den Ergebnissen sind neben den Meeresforschern sicherlich auch viele Touristen interessiert.

Insgesamt wurden im Rahmen des Fehmarnbelt-Projektes seit Beginn dieses Jahres 18 neue Mitarbeiter am IOW angestellt.



Mit Bewuchsplatten aus Unterwasserbeton und Plexiglas soll ermittelt werden, ob sich Polypen der heimischen Quallenarten auf den Brückenpfeilern ansiedeln würden. Foto: G. Niedzwiedz, Uni Rostock

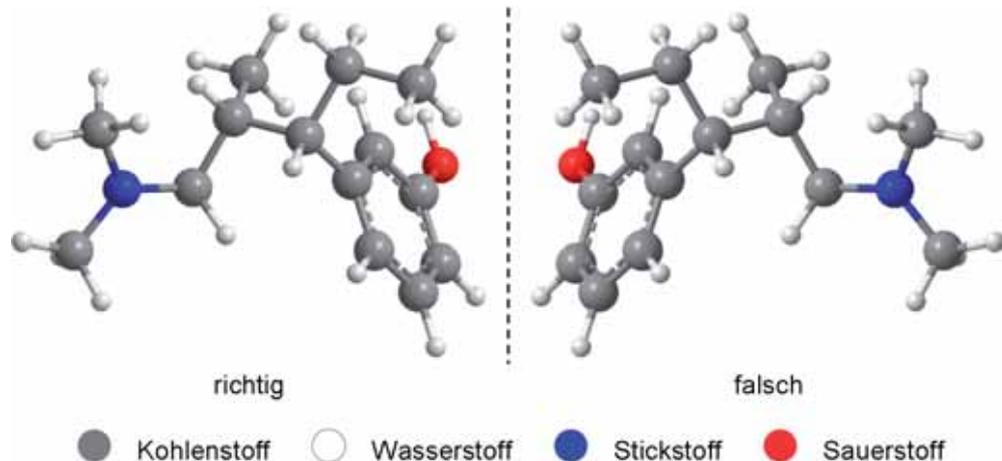


Siegfried Krüger (links) und Erik Stohr bereiten den Einsatz eines „Aqua Guards“ vor, mit dessen Hilfe an den Stationen Messdaten gesammelt und für den Funkversand vorbereitet werden. Foto: R. Labrenz, IOW.



# Wirkstoff mit dem richtigen Dreh

Rostocker Katalytiker waren beteiligt an der Entwicklung eines hochselektiven Verfahrens für einen wichtigen Teilschritt zur Produktion von Tapentadol, einem neuen innovativen Analgetikum.



Chemisch identisch, aber in der Wirkweise verschieden: Schema des Tapentadol-Moleküls in beiden Formen der „Händigkeit“. Abb.: LIKAT

## Von Regine Rachow

Seit Sommer dieses Jahres ist dieser neue Wirkstoff bereits unter dem Namen Nucynta® in den USA erhältlich. Entwickelt wurde Tapentadol von der deutschen Pharmafirma Grünenthal, Aachen, in enger Kooperation mit Forschern am LIKAT, dem Leibniz-Institut für Katalyse in Rostock. Tapentadol ist eine neue Generation zentral wirksamer Schmerzmittel, auch Analgetika genannt. Experten erwarten von diesem innovativen Wirkstoff erhebliche Therapieverbesserungen in der Behandlung starker akuter und chronischer Schmerzen.

Tapentadol unterscheidet sich deutlich von bisher am Markt befindlichen stark wirksamen Analgetika. Sprecher von Grünenthal heben den neuen synergistischen Wirkmechanismus von Tapentadol hervor und zählen das Medikament zur neuen Generation zentral wirksamer Schmerzmittel. Es wurde als schnell freisetzende Tablette zur Behandlung starker akuter Schmerzen und als retardierte „Formulierung“, wie der Chemiker sagt, entwickelt. Es ist weltweit die erste Molekül-Neuentwicklung seit 25 Jahren im Bereich der Schmerztherapie. Im Juni 2009 wurde für beide Formulierungen bei

mehreren europäischen Behörden, einschließlich des BfArMs (Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte) der Antrag auf Marktzulassung gestellt. Seit Juni 2009 steht Tapentadol in der schnell freisetzenden Formulierung in den USA zur Verfügung. Vertrieben wird das Medikament dort durch Ortho-McNeil-Janssen Pharmaceuticals, Inc., dem Tapentadol-Entwicklungspartner von Grünenthal in den USA. Es wurde eine Zulassung für Patienten ab 18 Jahre beantragt. Das Analgetikum wird dem Betäubungsmittelgesetz unterliegen (WHO-Stufe III).

Tapentadol ist eine Substanz, welche für die Wirkung nicht auf so genannte Metabolisierungsprozesse angewiesen ist, sondern direkt schmerzlindernd wirkt. Tapentadol zeigte im Vergleich zu starken Opioiden, wie Oxycodon, ein deutlich besseres Nebenwirkungsprofil, etwa den Magen-Darm-Bereich und Juckreiz betreffend. Außerdem weist seine Molekülstruktur eine bestimmte Form der „Händigkeit“ auf. Den LIKAT-Forschern um Projektleiter Detlef Heller und Hans-Joachim Drexler ist es zu verdanken, dass bevorzugt die gewünschte Form des Moleküls vorliegt.

In der Natur dominiert bei den meisten Substanzen nur eine Form der „Händigkeit“. In Organismen z. B. sind Aminosäuren, die Grundbausteine für Enzyme und Proteine, räumlich meist „linksdrehend“ angeordnet. Im Labor hingegen entstehen bei der Synthese von Substanzen beide Formen, so dass viele chemischen Wirkstoffe in einer Mischform vorliegen. Ob eine Substanz – bei identischer chemischer Formel – molekular rechts- und linkshändig angeordnet ist, kann ihre Wirkung erheblich verändern. Beta-Citronellol zum Beispiel, das in der Parfümerie verwendet wird, duftet nach Zitronen oder nach Rosen – je nachdem, ob die Methylgruppe an einer bestimmten Stelle des Moleküls spiegelbildlich angeordnet ist oder nicht.

Ein chemischer Wirkstoff entsteht in einer Mehrstufensynthese mit etwa einem Dutzend Schritten. Dabei gibt es einen bestimmten Punkt, an dem sich entscheidet, welche räumliche Anordnung das Molekül wählt. Bei der Synthese von Tapentadol geschieht dies während der Hydrierung, einem wichtigen Syntheseschritt, bei dem Wasserstoff in die Substanz eingebaut wird. Da Wasserstoffmo-

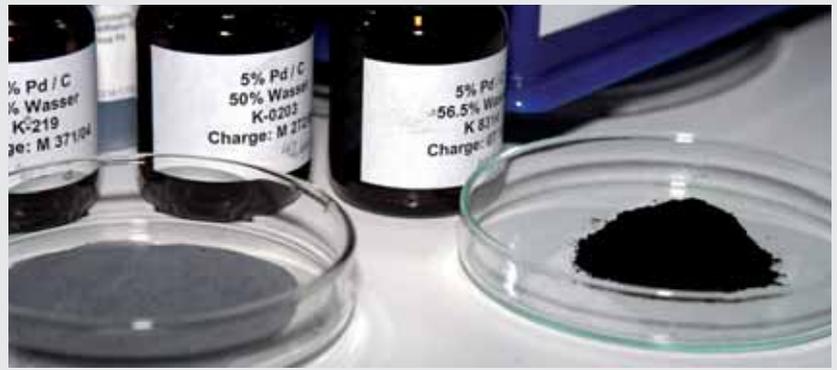
leküle sehr stabil sind, verwendet man für die Hydrierung Katalysatoren als Reaktionsbeschleuniger.

Heller und Drexler wählten die so genannte diastereoselektive Hydrierung und fanden in diesem Rahmen ein Verfahren, mit dem sie sicherstellen können, dass das Tapentadol hauptsächlich in der gewünschten „Händigkeit“ entsteht. Ergebnis ist ein hochselektives Verfahren, das es dem Team des Kooperationspartners um Helmut Buschmann gestattete, die Substanz im industriellen Maßstab zu produzieren. Es werden keine kostenintensiven Trennverfahren benötigt und die Herstellung ist umweltschonend. Die LIKAT-Forscher konnten außerdem zeigen, dass sich für das Verfahren am besten die heterogene Katalyse eignet und nicht die traditionsgemäß angewendete homogene Katalyse. Homogen wird sie genannt, weil Ausgangssubstanz und Katalysator sich im gleichen Aggregatzustand befinden.

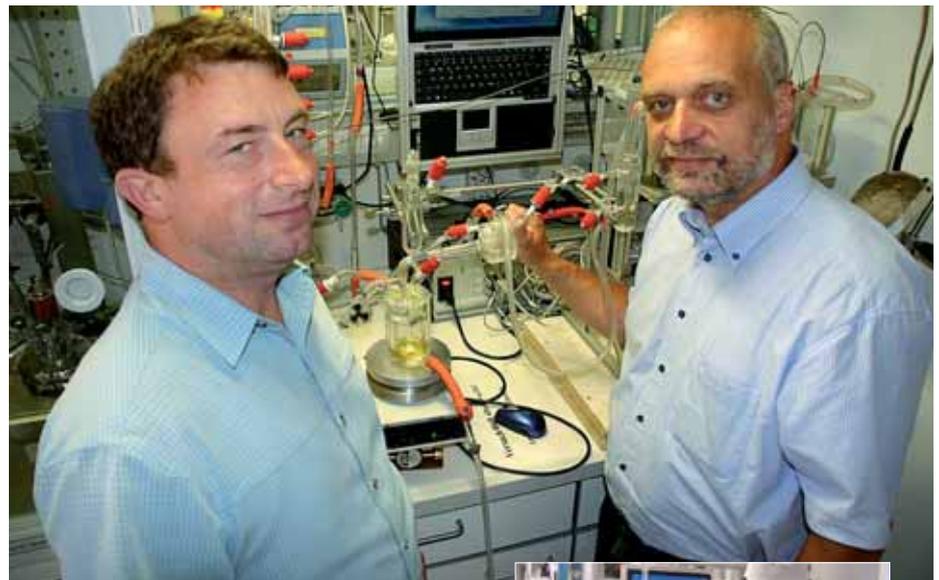
Für die heterogene Katalyse mussten sich die LIKAT-Chemiker – schon der unterschiedlichen Aggregatzustände der beteiligten Stoffe wegen – von den Grundlagen bis zur Apparatur „eine Menge einfallen lassen“. Detlef Hellers Zuständigkeit lag in der Grundlagenforschung und der apparativen Umsetzung. Dabei ging es um die Erkundung der optimalen Reaktionsbedingungen im katalytischen System. Als experimentelle „Stellschrauben“ boten sich Temperatur, Wasserstoffdruck und Lösungsmittel an. Hans-Joachim Drexler oblag der gesamte Bereich der Analytik, das Identifizieren der Ausgangsstoffe und der Produkte sowie das Aufspüren störender Substanzen im System.

Die katalytische stereoselektive Hydrierung gehört zum Spezialgebiet der beiden Wissenschaftler. Entwickelt wurde sie Ende der sechziger Jahre. William Knowles und Barry Sharpless (beide USA) sowie Ryoji Noyori (Japan) bekamen dafür 2001 den Nobelpreis. Deren Entdeckung war u. a. Grundlage für die Produktion von L-Dopa, einem Wirkstoff gegen Parkinson.

Im Jahre 2008 erlangten weltweit lediglich ein Dutzend wirklich neuer Wirkstoffe für die Humanmedizin die Marktreife. Tapentadol ist einer davon. Nach der



Oben: Wichtige Grundlage für die Katalyse: Aktivkohle.  
Unten: Syntheseschritte im Labor.



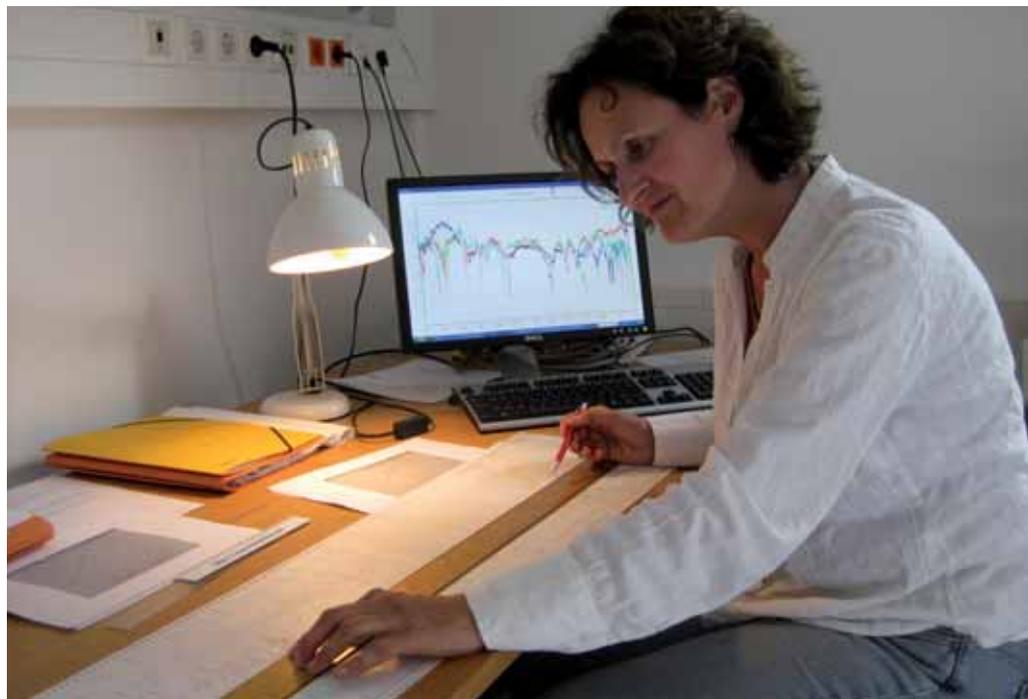
Detlef Heller (rechts) und Hans-Joachim Drexler und ihre Versuchs-Apparatur (kleines Bild).  
Fotos: LIKAT, Rachow



Zulassung in den USA soll Tapentadol 2010/2011 auch in Europa eingeführt werden. Daran mitgewirkt zu haben, erfüllt Heller und Drexler mit großem Stolz. „Es ist die Sternstunde eines jeden Chemikers, wenn so ein potentes Medikament die eigenen wissenschaftlichen Ideen enthält“, sagt Detlef Heller. Und Hans-Joachim Drexler ergänzt: „Es ist etwas, was man gern seinen Kindern erzählt.“

# Klimavariationen: unten wärmer, oben kälter

Ein halbes Jahrhundert  
Messungen bodengebundener  
Funkwellenausbreitung  
in Kühlungsborn zeigen  
deutliche Klimatrends.



Rosemarie von Rein, Mitarbeiterin am IAP, bei der Auswertung der Feldstärkemessungen des Senders Allouis.

## Von Jürgen Bremer und Günter Entzian

Während der Einfluss des Menschen auf globale Klimaänderungen durch den letzten IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Report jetzt zunehmend auch in der Öffentlichkeit diskutiert wird, begannen die wissenschaftlichen Aktivitäten zur Untersuchung und zum Nachweis langfristiger Variationen in der Erdatmosphäre schon Jahrzehnte früher. Dabei spielen die Zunahme (Kohlendioxid, Wasserdampf, Methan, Stickoxide) oder Abnahme (Ozon) von atmosphärischen Spurengasen trotz ihrer geringen Konzentration eine entscheidende Rolle. Sie absorbieren einerseits die biologisch schädliche UV-Strahlung und bedingen andererseits den Treibhauseffekt. Da sie relativ lange in der Atmosphäre verbleiben, sind sie auch in höheren Schichten der Atmosphäre wirksam.

Diese Spurengase strahlen im infraroten (IR) Spektralbereich und damit im gleichen Bereich wie der Erdboden. Diese Strahlung bewirkt in Erdbodennähe und in der Troposphäre eine Erwärmung (also den Treibhauseffekt), in den darüber liegenden Schichten (Strato-, Meso- und Thermosphäre) jedoch eine Abkühlung.

Die Ursache dieser unterschiedlichen Wirkungen beruht auf der Tatsache, dass in der Troposphäre die IR-Strahlung nach sehr kurzen Strecken von den Spurengasen absorbiert und wieder re-emittiert wird. Demgegenüber können mit zunehmender Höhe infolge sinkender Luftdichte die IR-Photonen zu einem großen Teil in den Weltraum entweichen und damit eine Abkühlung der Atmosphäre bewirken.

Weltweit wollen Forscher wissen, ob und wenn ja, in welchem Umfang die klimarelevanten Spurengase die Struktur und Dynamik der Atmosphäre verändert haben. Für langfristige Trends liegen kaum lange und homogene Messreihen vor. Eine Ausnahme bilden Messungen der ionosphärischen Reflexionshöhe langer elektromagnetischer Funkwellen, die 1959 in Kühlungsborn begonnen wurden und seit Gründung des Leibniz-Institutes für Atmosphärenphysik (IAP) kontinuierlich weitergeführt werden. Diese seit nunmehr als 50 Jahre betriebenen Messungen gestatten Untersuchungen atmosphärischer Trends im Bereich der Meso- und Thermosphäre.

Die angewendete Methode beruht auf der Messung der Gesamtfeldstärke eines weit entfernten Senders im Langwellenbereich, und zwar des französischen Senders Allouis auf der Frequenz von 162 kHz bei einer Senderentfernung von 1023 km. Das am Empfangsort in Kühlungsborn registrierte Signal ist dabei eine Überlagerung der sich längs des Erdbodens ausbreitenden Bodenwelle und der nach ihrer ionosphärischen Reflexion wieder zum Erdboden zurückkehrenden Raumwelle. Die Differenz des Laufweges zwischen der Raum- und der Bodenwelle hängt entscheidend von der ionosphärischen Reflexionshöhe ab, die sich im Laufe des Tages systematisch ändert. Die tageszeitliche Variation ist charakterisiert durch abnehmende Höhen am Vormittag bis zu einem Minimum um Mittag und wieder ansteigenden Höhen am Nachmittag. Diese Variation der Reflexionshöhe ist eine unmittelbare Folge der die Atmosphäre ionisierenden solaren Strahlung.

Zur Untersuchung langfristiger Trends werden bevorzugt Tagesmittelwerte der Reflexionshöhe bei konstantem solaren Zenitwinkel  $\chi$  verwendet. So

wird der Einfluss der sich mit Tages- und Jahreszeit regulär ändernden solaren Einstrahlung eliminiert. Werden jetzt Änderungen der Reflexionshöhe an unterschiedlichen Tagen beobachtet, kann es sich nur um Änderungen der atmosphärischen Eigenschaften handeln. In Abb. 1 ist die langfristige Variation der Jahresmittelwerte der Reflexionshöhe aufgetragen, die durch eine deutliche Abnahme in den vergangenen 50 Jahren gekennzeichnet wird. Da das Niveau einer konstanten Elektronendichte im Reflexionsgebiet in guter Näherung einem Niveau konstanten atmosphärischen Druckes entspricht, erkennen die Forscher darin ein starkes Indiz für eine Schrumpfung der mittleren Atmosphäre infolge einer Temperaturabnahme in der Strato- und Mesosphäre. Für den Höhenbereich zwischen 48 km bis 82 km sinken demnach die mittleren Temperaturen um 2 bis 3 Grad pro Dekade. Diese Trends in der Mesosphäre sind damit deutlich stärker als Temperaturtrends in Erdbodennähe und deshalb für Untersuchungen langfristiger atmosphärischer Variationen besonders gut geeignet.

Um zu testen, ob solche negativen Temperaturtrends mit dem eingangs erwähnten Treibhauseffekt in der Erdatmosphäre erklärt werden können, wurden am IAP in Kühlungsborn umfangreiche Modellanalysen durchgeführt für realistische Szenarien mit beobachteten langfristigen Änderungen des Treibhausgases CO<sub>2</sub> und des atmosphärischen Ozons. In Abb.2 sind die Modellergebnisse zusammen mit den experimentellen Temperaturtrends getrennt für Sommer und Winter aufgetragen. Dabei ist zu erkennen, dass in 40 bis 90 km Höhe negative Temperaturtrends dominieren und diese Trends nicht nur durch langfristige Trends im CO<sub>2</sub> sondern auch im Ozon verursacht werden.

Allerdings erklären die Modellrechnungen die experimentellen Trends als Folge des Treibhauseffektes bislang nur zu einem Teil. Deshalb sind auch in Zukunft weitere Trenduntersuchungen erforderlich. Die langfristigen Feldstärkemessungen im Langwellenbereich spielen dabei eine wichtige Rolle bei der Evaluierung der Modelle.

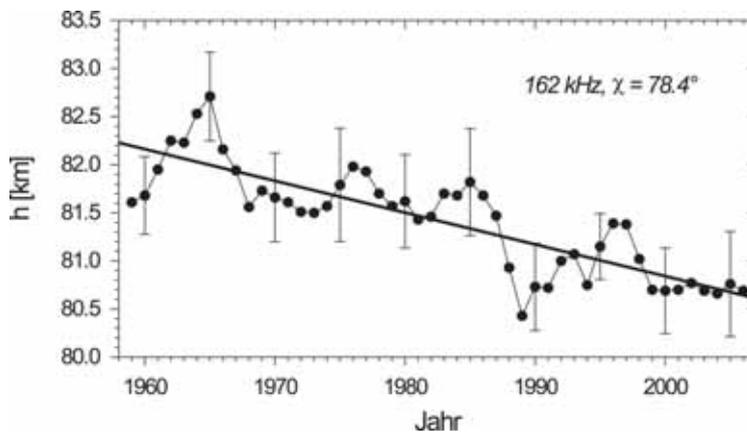


Abb. 1: Langzeitige Variation der ionosphärischen Reflexionshöhe bei konstantem solaren Zenitwinkel  $\chi$ .

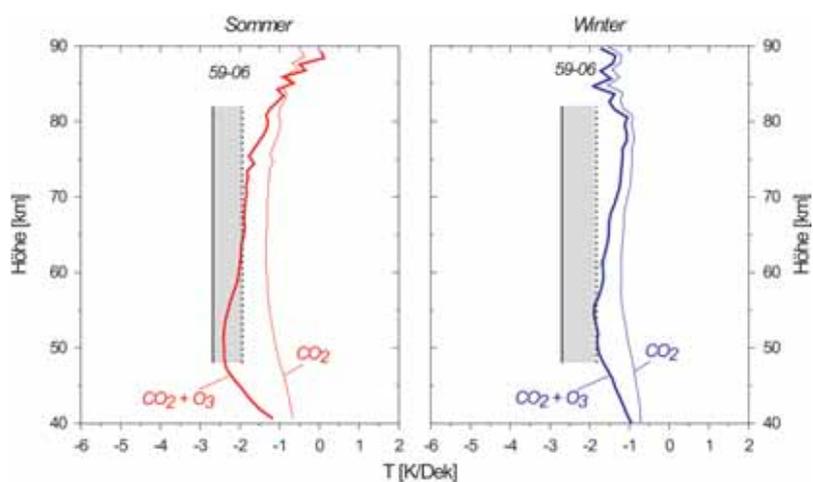
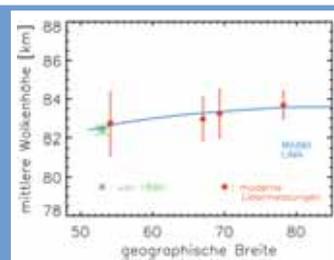


Abb. 2: Mittlere Temperaturtrends aus Feldstärkemessungen (graue Balken) und nach Modellrechnungen für realistische Trends von CO<sub>2</sub> und Ozon (rote und blaue Kurven), jeweils für Sommer- und Winterbedingungen.

### Mesosphärische Eiswolken als Klimaindikatoren

„Leuchtende Nachtwolken“ (NLC, noctilucent clouds) bestehen aus Eiswolken in ca. 83 km Höhe, die von der Sonne beleuchtet werden, wenn sie kurz unterm Horizont steht. Da sie sehr temperaturempfindlich sind und seit circa 120 Jahren vermessen werden, sind sie zu Klimastudien sehr geeignet. In der Tat beobachtet man einen Anstieg der Helligkeit und Häufigkeit dieser Wolken. Modellrechnungen am IAP zeigen, dass dieser Trend zum signifikanten Teil indirekt durch eine Abkühlung der Stratosphäre hervorgerufen wird. Andererseits ist die mit modernen Lasermethoden am IAP gemessene Höhe der Wolken praktisch identisch mit historischen Messwerten, die durch optische Triangulation bestimmt wurden. Dies begrenzt den Temperaturtrend in NLC-Höhen auf weniger als 3 Grad in 120 Jahren. Außerdem variiert die Höhe nur sehr wenig mit der geographischen Breite, was eine starke Einschränkung für Modelle bedeutet. Weltweit versuchen Wissenschaftler, die unterschiedlichen Informationen über NLC zu einem Gesamtbild zusammenzufügen, um die Bedeutung von leuchtenden Nachtwolken als Klimaindikator besser verstehen zu können.



Franz-Josef Lübken

# Kurze Meldungen

## LIKAT: Matthias Beller Mitglied der Leopoldina

Im Mai 2009 hat die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina Matthias Beller, Direktor des Leibniz-Instituts für Katalyse in Rostock, zu ihrem Mitglied gewählt. In einem Schreiben an das neue Mitglied betont der Präsident der Leopoldina, Volker ter Meulen: „Sie dürfen in der Wahl eine besondere Anerkennung Ihrer wissenschaftlichen Leistungen und Ihrer Persönlichkeit sehen.“ Als Leopoldina-Mitglied sehe er sich stellvertretend „für all die vielen Mitarbeiter, die die Arbeiten gemacht haben“, sagt Matthias Beller.

Die Leopoldina wurde 1652 gegründet, sie ist die älteste naturforschende Gelehrten-gemeinschaft der Welt. Ihre wichtigsten Aufgaben sind die Beratung von Politik und Öffentlichkeit zu wissenschaftlichen Themen sowie die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Sie bot unter anderen 170 Nobelpreisträgern eine geistige Heimat, unter ihnen Albert Einstein, Max Planck und Niels Bohr.

## IAP: „Dynamische Kontrolle der mesosphärischen Eisphase“

Unter diesem Titel hat sich das Institut für Atmosphärenphysik Kühlungsborn erfolgreich um eine Förderung im Rahmen des Paktes für Forschung und Innovation der Leibniz-Gemeinschaft beworben. Ziel der Arbeiten ist es, mesosphärische Eiswolken und ihre Abhängigkeit von der Temperatur und vom Wasserdampfgehalt besser zu verstehen. Diese Parameter unterliegen anthropogenen Veränderungen, und ihr quantitativer Einfluss auf die Bildung von Eisteilchen in Höhen von 80 bis 90 km ist nicht bekannt. Aufklärung soll das Projekt geben, bei dem unter Leitung von Markus Rapp erstmals horizontal hochaufgelöste Messungen der Eiswolken mit einem völlig neuartigen scannenden Eisenresonanz-Lidar sowie mit einem scannenden Radar durchgeführt werden. Mit Hilfe von Modellierungen zur Mikrophysik und zur Dynamik soll insbesondere die Rolle von Wellenstörungen für die Eisteilchenbildung geklärt werden.

## IAP: Spitzengerät zur Atmosphärensondierung

Das Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik Kühlungsborn (IAP) errichtet derzeit in Nordnorwegen ein neues VHF-Radar, das durch sein Konzept das modernste Radar zur Atmosphärensondierung darstellt und auch mit seiner Leistungsstärke zu den führenden Anlagen auf der Welt gehört. Es ist das einzige Radar dieser Art in polaren Breiten, die für die viele aktuelle Fragen der Atmosphären-

physik eine extrem wichtige Bedeutung haben. Das anspruchsvolle Projekt wird mit einer Summe von 2,5 Millionen Euro durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert, der Rest sind Eigenmittel des Institutes sowie der persönliche Einsatz der IAP-Mitarbeiter beim Aufbau des Antennenfeldes im kurzen arktischen Sommer 2009. Alle Antennen dieses leistungsstarken Ra-

dars verfügen über jeweils eigene Sendemodule und gestatten es, den Radarstrahl von Puls zu Puls in eine beliebige Richtung zu schwenken. Auf diese Weise wird es mit diesem Radar erstmals möglich sein, horizontale Strukturen starker Radarechos und ihren Zusammenhang zu den gleichzeitig gemessenen Wind- und Turbulenzvariationen zu untersuchen.



Antennenfeld des neuen Radars als Teil des ALOMAR Observatoriums nahe der Andoya Rocket Range in Andenes, Norwegen (69°N, 16°E). Foto: Ralph Latteck, IAP

## INP: Ausrichter internationaler Konferenzen

Im September 2010 werden zwei wichtige Konferenzen die Bedeutung Greifswalds als Wissenschaftsstandort unterstreichen: die 18. Internationale Konferenz für Gasentladungen (GD 2010) und deren Anwendungen sowie die 3. Internationale Konferenz für Plasmamedizin (ICPM 3). Hauptausrichter ist das Leibniz-Institut für Plasmaforschung und

Technologie e. V. (INP) in Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (GD 2010) und der Universität Greifswald (GD 2010, ICPM 3).

Greifswald gehört zu den beliebtesten Studienorten in Deutschland. Mittlerweile gibt es über 13.000 Studenten in der Ostseestadt.

## IOW: Craig Venter Gast in Warnemünde

Mitarbeiter des US-amerikanischen Molekularbiologen J. Craig Venter waren im Juli mit dem Forschungssegelschiff SORCERER II zu Gast am Institut für Ostseeforschung. Im Darwin-Jahr verfolgt Venter das ehrgeizige Ziel, über Metagenomanalysen die Artenvielfalt mariner Mikroorganismen in der Ostsee, im Mittelmeer und Schwarzen Meer zu untersuchen. Dies ist möglich, da Venter eines der leistungsstärksten Labore für DNA-Analyse unterhält. Das Wissen über mikrobielle Aktivitäten ist entscheidend für die Bewertung eines Ökosystems, da diese die Nährstoffkreisläufe in Gang halten und die Basis des Nahrungsnetzes bilden. Warnemünde war der Abschluss der Ostsee-Kampagne. Die IOW-Forscher Klaus Jürgens und Matthias Labrenz erkunden seit etwa sechs Jahren die Rolle der Mikroorganismen im Ökosystem Ostsee. Sie sind an den Ergebnissen des Projektes sehr interessiert und unterstützen es daher als Kooperationspartner aktiv.



Die Warnemünder Molekularbiologen treffen ihre amerikanischen Kollegen im Rostocker Stadthafen. Foto: IOW

## LIKAT: Energie für die Zukunft

Das Strategiekonzept „Energie für die Zukunft – Photokatalysierte Spaltung von Wasser zu Wasserstoff (Light2Hydrogen)“ wird über einen Zeitraum von fünf Jahren vom BMBF mit einer Gesamtsumme von zehn Millionen Euro gefördert.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die direkte photokatalytische Herstellung von Wasserstoff aus Wasser (Wasserspaltung zu Wasserstoff und Sauerstoff) mittels Sonnenlicht sowie deren erste technische Realisierungen. Dazu haben sich international führende Forschergruppen mit ausgewiesenen Experten in den relevanten Fachgebieten zu einem Wissenschaftscluster zusammengeschlossen.

Koordinator des Clusters ist Matthias Beller vom Leibniz-Institut für Katalyse. Beteiligt sind die Universität Rostock, das Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie Greifswald, die TU Berlin, das Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung Golm, das Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, die Schweizer Exzellenz-universität EPFL Lausanne, das Center for Catalysis Research and Innovation Ottawa/Kanada und das Massachusetts Institute of Technology in Cambridge/USA.

Eingebunden sind auch Unternehmen, darunter zwei innovative KMU aus Mecklenburg-Vorpommern.

## IOW: Saure Meere

Im September startete das vom BMBF geförderte Projekt BIOACID, das sich mit den Folgen der Versauerung der Meere für marine Organismen befassen wird. Insgesamt 100 Forscher aus 14 Partnerinstituten beteiligen sich daran. Ursache der Versauerung ist der Anstieg von  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre. Maren Voß, Koordinatorin der Arbeiten am IOW sowie eines der fünf Unterprojekte: „Über die Folgen für die Meeresbewohner gibt es bislang nur Mutmaßungen.“ Die Ostseeforscher untersuchen in dem Verbundprojekt vorrangig die Auswirkungen auf Cyanobakterien („Blualgen“) und einen am IOW erfolgreich isolierten Schlüsselorganismus aus der Gruppe der Proteobakterien. Eine dritte Gruppe untersucht die



Eine Ostseetypische „Blualge“. Das IOW erkundet, wie sie auf die Versauerung der Ostsee reagieren. Foto: IOW

Pufferwirkung von Kalkablagerungen im Sediment. Koordinator von BIOACID ist das Leibniz-Institut für Meereswissenschaften, IFM-GEOMAR, in Kiel.

## FBN: Neue Graduiertenschule

Im März 2009 wurde vom Senatsausschuss Wettbewerb (SAW) der Antrag auf die Einrichtung der „International Leibniz Graduate School on Functional Biodiversity in Farm Animals (ILGS DivA)“ positiv beschieden.

Gemeinsam mit Partnern an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock und der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel bieten Wissenschaftler aus verschiedenen Forschungsbereichen des FBN Dummerstorf ein Ausbildungskonzept für Graduierte an. Fortschritte z.B. der Genomforschung und von biomathematischen Methoden schufen unter anderem Voraussetzungen für genombasierte Zuchtprogramme. Doch fehlt es gegenwärtig an Nachwuchskräften mit der erforderlichen interdisziplinären Methodenkompetenz für die Anwendung solcher Verfahren. Die Vermittlung dieser Kompetenz steht im Mittelpunkt der Graduiertenschule. Nach einem Vorbereitungs-jahr, in dem ein innovatives Lehrkonzept unter Einbeziehung des Kompetenznetzwerkes PHÄNOMICS entstehen wird, beginnt die Ausbildung der Graduierten im September 2011.

## Das ist die Leibniz-Gemeinschaft

Die Leibniz-Gemeinschaft ist ein Zusammenschluss von 86 Forschungseinrichtungen, die wissenschaftliche Fragestellungen von gesamtstaatlicher Bedeutung bearbeiten. Sie stellen Infrastruktur für Wissenschaft und Forschung bereit und erbringen forschungsbasierte Dienstleistungen – Vermittlung, Beratung, Transfer – für Öffentlichkeit, Politik, Wissenschaft und Wirtschaft. Sie forschen auf den Gebieten der Natur-, Ingenieurs- und Umweltwissenschaften über die Wirtschafts-, Sozial- und Raumwissenschaften bis hin zu den Geisteswissenschaften. [www.leibniz-gemeinschaft.de](http://www.leibniz-gemeinschaft.de)

## Und das ist Leibniz im Nordosten



### Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere (FBN)

Das FBN Dummerstorf erforscht die funktionelle Biodiversität von Nutztieren als entscheidende Grundlage einer nachhaltigen Landwirtschaft, als bedeutendes Potenzial für die langfristige globale Ernährungssicherung und wesentliche Basis des Lebens. Erkenntnisse über Strukturen und komplexe Vorgänge, die den Leistungen des Gesamtorganismus zugrunde liegen, werden in interdisziplinären Forschungsansätzen gewonnen, bei denen Resultate von den jeweiligen Funktionsebenen in den systemischen Gesamtzusammenhang des tierischen Organismus als Ganzes eingeführt werden.

[www.fbn-dummerstorf.de](http://www.fbn-dummerstorf.de)



### Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)

Das IOW ist ein Meeresforschungsinstitut, das sich auf die Küsten- und Randmeere und unter diesen ganz besonders auf die Ostsee spezialisiert hat. Mit einem interdisziplinären systemaren Ansatz wird Grundlagenforschung zur Funktionsweise der Ökosysteme der Küstenmeere betrieben. Die Ergebnisse sollen der Entwicklung von Zukunftsszenarien dienen, mit denen die Reaktion dieser Systeme auf die vielfältige und intensive Nutzung durch die menschliche Gesellschaft oder auf Klimaänderungen veranschaulicht werden kann.

[www.io-warnemuende.de](http://www.io-warnemuende.de)



### Leibniz-Institut für Katalyse e.V. an der Universität Rostock (LIKAT)

Das LIKAT gehört zu den führenden europäischen Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Katalyse. Es definiert seinen Aufgabenschwerpunkt im Umfeld anwendungsnahe Grundlagenforschung und angewandter Forschung. Das Leibniz-Institut für Katalyse fungiert dabei als Bindeglied zwischen Universitäten und Instituten der Max-Planck-Gesellschaft auf der einen Seite und Unternehmen der Wirtschaft auf der anderen Seite. Das Ziel der Arbeiten ist die Weiterentwicklung von Ergebnissen der Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Katalyse hin zu einer technischen Umsetzung.

[www.catalysis.de](http://www.catalysis.de)



### Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik (IAP)

Das IAP erforscht die mittlere Atmosphäre im Höhenbereich von 10 bis 100 km und die dynamischen Wechselwirkungen zwischen unterer und mittlerer Atmosphäre. Die mittlere Atmosphäre ist bisher wenig erkundet, spielt aber für die Wechselwirkung der Sonne mit der Atmosphäre und für die Kopplung der Schichten vom Erdboden bis zur Hochatmosphäre eine entscheidende Rolle. Das IAP verwendet moderne Fernerkundungsmethoden, wie Radar- und Lidar-Verfahren und erhält damit aufschlussreiches Beobachtungsmaterial über physikalische Prozesse und langfristige Veränderungen in der mittleren Atmosphäre. [www.iap-kborn.de](http://www.iap-kborn.de)



### Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. (INP)

Das INP betreibt Forschung und Entwicklung von der Idee bis zum Prototyp. Ziel ist die technologische Vorlauforschung und die Optimierung etablierter Plasmaverfahren und Plasmaprodukte sowie die Erforschung neuer Plasmaanwendungen. Dies wird ergänzt durch die Anpassung von Plasmen an kundenspezifische Einsatzbedingungen sowie Machbarkeitsstudien, Beratung und Serviceleistungen. Derzeit stehen Umwelt- und Energietechnik, Oberflächen und Materialien sowie interdisziplinäre Themen in Biologie und Medizin im Mittelpunkt. Unterstützt wird dies durch Spezial-Plasmaquellen, Modellierung und Diagnostik. [www.inp-greifswald.de](http://www.inp-greifswald.de)

# Ein Standort macht sich stark

## [Rostock denkt 365°] wird „Bestes Standortmarketing Deutschlands“

Was haben das größte europäische Forschungsinstitut für angewandte Katalyse, die größte europäische Robbenforschungsstation, das modernste Forschungsschiff Europas und die älteste Universität Nordeuropas gemeinsam? Ganz einfach: den Standort. Gemeint sind nicht etwa London oder Stockholm, es geht um Rostock: die größte Stadt der nordostdeutschen Provinz.

Seit 2008 kann der Standort mit einer weiteren Besonderheit aufwarten. Als Rostocks Beitrag in dem vom Stifterverband der deutschen Wissenschaft ausgeschriebenem Wettbewerb „Stadt der Wissenschaft“ ausschied, beschlossen die beteiligten Einrichtungen, einfach weiter zu machen. Ein einzigartiger Vorgang im nun bereits seit fünf Jahren etablierten Wettbewerbsgeschehen.

„Natürlich waren wir enttäuscht über das Jury-Urteil. Aber wir hatten bereits Strukturen geschaffen, die uns das Weitermachen erleichterten“, sagt Barbara Heller, die das Leibniz-Institut für Katalyse aktiv im Verein [Rostock denkt 365°] vertritt. Die Vorbereitungszeit auf den Wettbewerbsbeitrag sei der eigentliche Gewinn. Tatsächlich: Zum ersten Mal fanden sich alle wissenschaftlichen Einrichtungen an einem Tisch zusammen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der unterschiedlichsten Fachrichtungen, die sonst in internationalen Netzwerken zu Hause sind, hatten plötzlich ein sehr lokales gemeinsames Ziel: den Wissenschaftsstandort Rostock zu fördern. Gemeinsam etwas bewegen zu können – das hinterließ einen starken Eindruck bei den Teilnehmern. So vertieften sie auch nach dem Ausscheiden ihre Ideen und entwickelten spannende Veranstaltungs-

formate. Als organisatorische Klammer wirkt nach wie vor der im Zuge der Wettbewerbsvorbereitung gegründete Verein [Rostock denkt 365°].

Eine der neuen Initiativen im Rahmen der Netzbildung widmet sich dem Rostocker Forschungsnachwuchs. Im Mai dieses Jahres traten unter dem Titel „Rostock's 11“ elf Rostocker Jungforscherinnen und Jungforscher aus vier Leibniz-Instituten, zwei Fraunhofer-Einrichtungen, einem Max-Planck-Institut, einer Bundesforschungseinrichtung und einer Universität an, die innerhalb ihres breiten Fächerspektrums gerade mit der Schaffung von drei Profillinien Schwerpunkte gesetzt hatte. Eine Jury aus elf Wissenschaftsjournalisten übernahm die schwierige Aufgabe, die verständlichste Darbietung zu prämiieren. Als Sieger ging Thomas Fennel vom Department „Life, Light and Matter“ der Universität Rostock mit dem Beitrag „Die Kraft des Lichts“ aus dem Rennen hervor. Der Preis ist mit 365 Euro dotiert und wurde vom Wirtschaftsförderer Rostock Business gestiftet.

Den zweiten Platz belegte ein Leibniz-Wissenschaftler: Alexander Rebl vom Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere Dummerstorf begeisterte die Jury mit seinem Vortrag über die Widerstandsfähigkeit von Forellen aus Boddengewässern – einer wichtigen Voraussetzung für deren Eignung oder Nichteignung für die Aquakultur.

Nur einen Monat später brachte ein weiterer Wettbewerb den Rostocker Wissenschaftsstandort ins Rampenlicht: Auf dem Deutschen Wirtschaftsförderungskongress, der Mitte Juni in Dortmund stattfand, kürte der Bundesverband Deutscher Unternehmensberater (BDU) die Initiative [Rostock denkt 365°] unter 35 Bewerbungen aus 32 Städten zum besten Standortmarketing Deutschlands.



Oben: Alexander Rebl vom FBN wurde Zweiter. Foto: Medienzentrum  
Unten: Thomas Fennel (Mitte) von der Universität Rostock ist der Gewinner des Nachwuchswettbewerbs. Hier mit Udo Kragl (links) vom Verein [Rostock denkt 365°] und Jens Siehoff, FAZ. Foto: Peter Wilhelm MPIDF.

### Das sind „Rostock's eleven“:

- Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung,
- Fraunhofer Anwendungszentrum für Großstrukturen in der Produktionstechnik,
- Johann Heinrich von Thünen Institut für Ostseefischerei,
- Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik,
- Leibniz-Institut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere,
- Leibniz-Institut für Katalyse,
- Leibniz-Institut für Ostseeforschung,
- Max-Planck-Institut für Demographie,
- Universität Rostock: Profillinie Maritime Systems; Life, Light and Matter; Aging Science and Humanities.

## Impressum

Leibniz-Nordost Nr. 9, Oktober 2009  
Herausgeber: Die Leibniz-Institute in M-V

### Anschrift:

Redaktion Leibniz-Nordost  
c/o Regine Rachow,  
Heckenrosenweg 18 a,  
18209 Bad Doberan.  
E-Mail: reginerachow@online.de

### Redaktion:

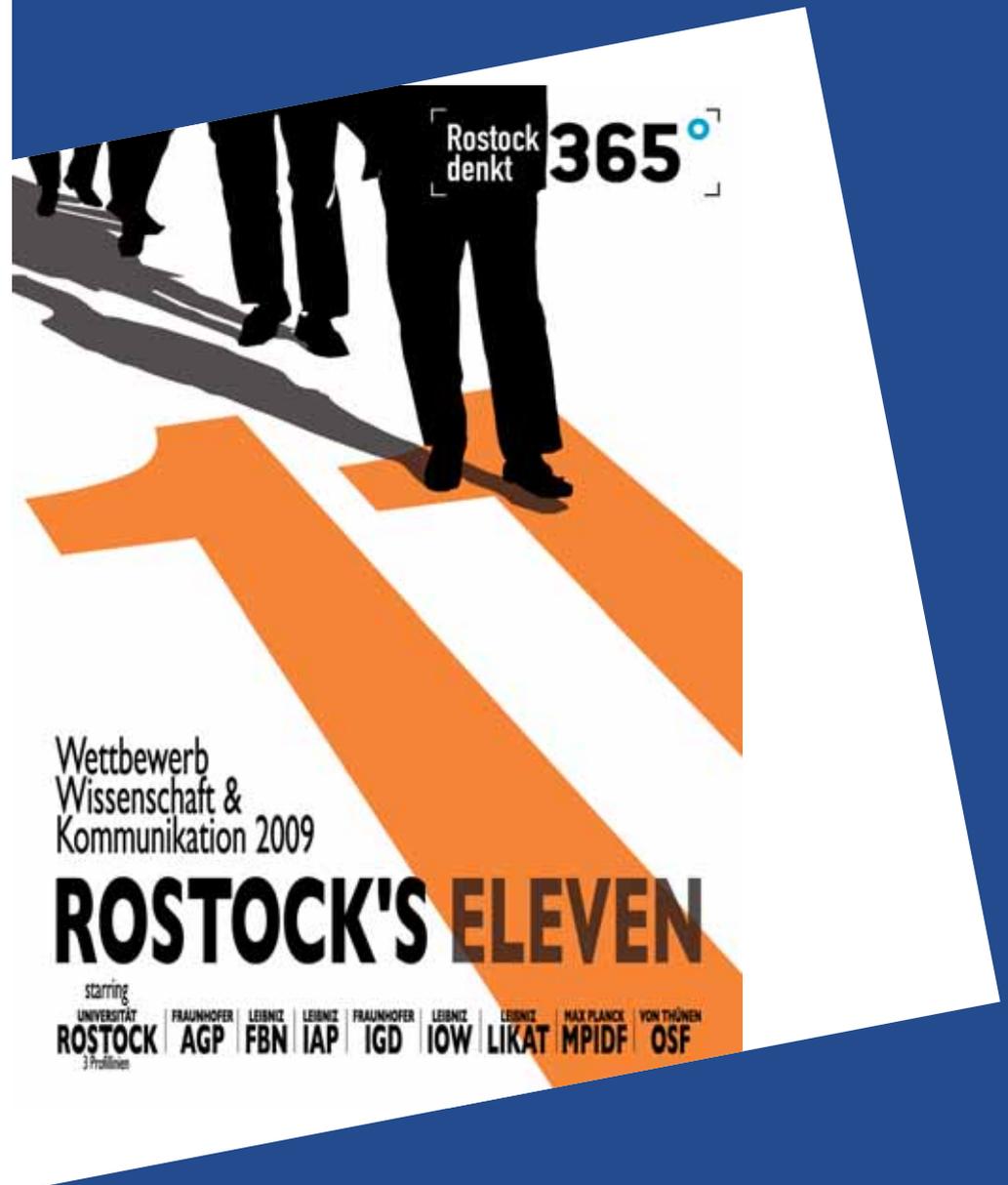
Dr. Norbert Borowy (FBN), Liane Glawe (INP),  
Dr. Barbara Heller (LIKAT), Dr. Barbara Hentzsch (IOW),  
Prof. Dr. Franz-Josef Lübken (IAP), Regine Rachow

**Grafik:** Werbeagentur Piehl

**Druck:** Druckhaus Panzig Greifswald

**Auflage:** 3000

Die nächste Ausgabe von Leibniz-Nordost erscheint im Frühjahr 2010.



Wettbewerb  
Wissenschaft &  
Kommunikation 2009

# ROSTOCK'S ELEVEN

starring  
UNIVERSITÄT ROSTOCK | FRAUNHOFER AGP | LEIBNIZ FBN | LEIBNIZ IAP | FRAUNHOFER IGD | LEIBNIZ IOW | LEIBNIZ LIKAT | MAX PLANCK MPIDF | VON THÜNIEN OSF  
3 Profilen