

FORSCHEN in Jülich



UMWELT UND KLIMASCHUTZ

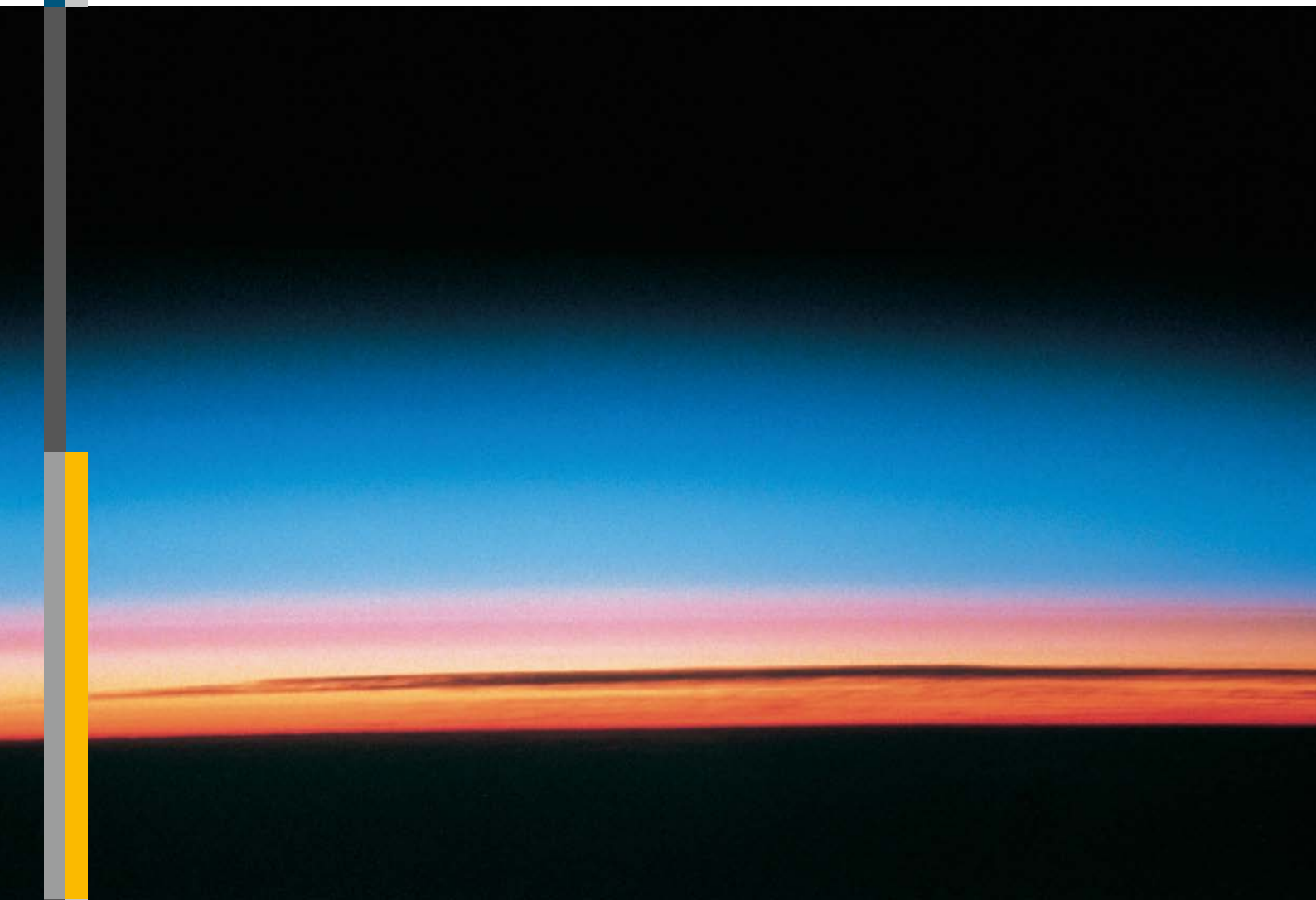
:: FLIEGENDE LABORS

:: ZWISCHEN HIMMEL UND ERDE

:: DEN HIMMEL ÜBER CHINA VERSTEHEN

FORSCHEN in Jülich

Das Magazin aus dem Forschungszentrum



Die Atmosphäre der Erde: Vielfältige Prozesse in der Lufthülle unseres Planeten beeinflussen die Umwelt und das Klima. Die Aufmerksamkeit der Atmosphärenforschung richtet sich zunehmend auf den vom Menschen verursachten Stoffeintrag.

Titelbild: Das Messflugzeug „Eco-Dimona“, ein einmotoriger Motorsegler, misst über einem Versuchsfeld die Konzentration von Kohlendioxid und Wasser in der Atmosphäre.

Umweltforschung für die Sicherung unserer Lebensgrundlagen

Der Klimawandel wird gravierende Folgen haben, die unsere Lebensgrundlagen gefährden. Dies bestätigt der vierte Klima-Report des Weltklimarats (IPCC), an dem auch Wissenschaftler des Forschungszentrums Jülich mitarbeiten. Der sparsame und intelligente Umgang mit Rohstoffen und eine klimaschonende Energieversorgung gehören daher zu den wichtigsten Zukunftsthemen unserer Gesellschaft.

Kaum jemand mag das heute noch ernsthaft bestreiten. Doch wie können wir nun darauf reagieren? Und wer? Entschiedenenes Handeln der Politik, neue Produkte aus der Wirtschaft, verändertes Verhalten der Verbraucher – all dies ist wichtig. Dies wird aber nur gelingen, wenn wir noch viel genauer verstehen, wie die komplexen Prozesse in unserer Umwelt ablaufen, wie Atmosphäre, Pflanzenwelt und Boden in sich und im Austausch miteinander funktionieren.

Ob der Energieträger Wasserstoff Freund oder Feind des Klimas ist oder wie sich Wolken auf das Klima auswirken ... Längst ist noch nicht alles klar, vieles nur scheinbar hinreichend verstanden. Beobachten, verstehen, handeln, und zwar in dieser Reihenfolge, ist daher unsere Position in der Umwelt- und Energieforschung. Mit Messinstrumenten am Boden und in der Luft sammeln Umweltforscherinnen und -forscher aus Jülich in internationalen Kampagnen umfangreiche Daten – regional wie global. Sie klären Wechselwirkungen auf und simulieren auf dieser Basis die ablaufenden Prozesse. Damit schaffen sie wichtige Grundlagen für zielgerichtetes und nachhaltiges Handeln.

So beobachteten Jülicher Atmosphärenforscher zum Beispiel in der Luft über Südchina einen beschleunigten Schadstoffabbau in der Atmosphäre, der sich von dem bislang bekannten unterscheidet. Mithilfe von Simulationsrechnungen und mittels Experimenten in der Jülicher Atmosphären-Simulationskammer SAPHIR wird der neu beobachtete Mechanismus jetzt aufgeklärt.



Prof. Dr. Achim Bachem, Vorstandsvorsitzender (r.), und Prof. Dr. Harald Bolt, Mitglied des Vorstands

Ein anderes Beispiel: Bekannt ist, dass das Treibhausgas Kohlendioxid (CO_2) von Pflanzen und Böden aufgenommen, gespeichert und allmählich wieder freigesetzt wird. Welche Wechselwirkungen jedoch zwischen diesen organischen Kohlenstoffspeichern, den unterschiedlichen Bodennutzungen, der Bodenfeuchte und dem prognostizierten Klimawandel – mit Temperaturanstieg und verändertem Niederschlag – zu erwarten sind, das ist nach wie vor eine offene Frage. Jülicher Wissenschaftler arbeiten an der Aufklärung und daran, wie man Pflanzen und Pflanzenproduktion an die veränderten Klimabedingungen anpassen kann.

Während bei diesen beiden Beispielen das Beobachten und Verstehen im Fokus stehen, sind wir auf anderen Feldern bereits sehr nah an der Anwendung. Beispiel Materialforschung für die klimaschonende Energieversorgung der Zukunft. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts für Energieforschung entwickeln spezielle Membranen, die Kohlendioxid aus Abgasen abtrennen oder neue Materialien für Brennstoffzellen und energiesparende Lampen. Auch darüber berichtet dieses Heft.

Wir wünschen Ihnen eine anregende Lektüre.

Prof. Dr. Achim Bachem
Vordandsvorsitzender des
Forschungszentrums Jülich

Prof. Dr. Harald Bolt
Mitglied des Vorstands



10

:: FLIEGENDE LABORS

Messinstrumente unternehmen luftige Ausflüge im Zeppelin, mit Flugzeugen oder Satelliten, damit Atmosphärenforscher den Einfluss von Spurengasen und Schwebeteilchen auf die Atmosphäre untersuchen können.



13

ZWISCHEN HIMMEL UND ERDE

Die Beziehungen zwischen Boden, Pflanzen und Klima sind vielfältig: Pflanzen nehmen das Treibhausgas Kohlendioxid auf und produzieren zugleich Stoffe, die die Wolkenbildung fördern; Wälder speichern Wasser, Böden setzen je nach Wetterlage verschieden viel Kohlendioxid frei. In Langzeitprojekten untersuchen Jülicher Forscher, wie das alles zusammenwirkt.



26

DEN HIMMEL ÜBER CHINA VERSTEHEN

Jülicher Atmosphärenforscher reisten zu den Olympischen Spielen nach China. Sie erarbeiteten Empfehlungen, um die Schadstoffbelastung während der Wettkämpfe zu verringern und machten überraschende Entdeckungen zur Selbstreinigungskraft der Atmosphäre.

IN DIESER AUSGABE

3 Editorial

:: SCHNAPPSCHÜSSE AUS JÜLICH

6 Forschung im Überblick

Ein Kaleidoskop von Bildern zeigt Highlights aus der Jülicher Forschung – von der Suche nach dem Ursprung der Masse über die Entdeckung von Gehirnveränderungen bei Synästheten bis zum Ausloten der Nanowelt.

:: SCHWERPUNKT

9 Das Klima verstehen

10 Fliegende Labors

Messinstrumente gehen in die Luft, um Spurengase und Schwebeteilchen in der Atmosphäre zu analysieren.

13 Zwischen Himmel und Erde

Jülicher Umweltwissenschaftler untersuchen Wechselwirkungen zwischen Böden, Pflanzen und Klima.

16 Globaler Klimawandel – regional beobachtet

Interview mit Prof. Harry Vereecken, Direktor des Instituts für Chemie und Dynamik der Geosphäre.

18 Eiswolken im Treibhaus Erde

Zirruswolken aus winzigen Eiskristallen können sich sowohl kühlend, als auch wärmend auf das Klima auswirken. Welcher Effekt überwiegt? Jülicher Forscher sind der Antwort auf der Spur ...

20 Klima – beobachten, verstehen, handeln

22 Vom Klimakiller zum Rohstofflieferanten

Mikroalgen, die Kohlendioxid aus Kraftwerkabgasen binden, könnten künftig als nachwachsender Rohstoff für die Produktion von Benzin und Kunststoffen dienen.

24 Kohlendioxid einfangen und vergraben

Filter, die das Treibhausgas Kohlendioxid aus Abgasen abtrennen, sollen Kohlekraftwerke klimafreundlicher machen.

:: HIGHLIGHTS

26 Den Himmel über China verstehen

Die Atmosphärenchemie über chinesischen Ballungsräumen funktioniert anders, als bisher gedacht.

30 Automatisierung statt Handarbeit

Jülicher Energieforscher entwickeln automatisierte Fertigungsverfahren für Brennstoffzellen.

32 Wasserstoff – Freund oder Feind?

Jülicher Wissenschaftler geben Entwarnung.

34 Gefährliche Notbremse gegen globale Erwärmung

Sulfateilchen in der Atmosphäre könnten vielleicht dem Treibhauseffekt entgegensteuern, hätten aber starke Nebenwirkungen.

36 Licht mit der richtigen Prise Salz

Quecksilber in Energiesparlampen wird verboten – Jülicher Forscher entwickeln Alternativen.

38 Nachrichten aus der Umwelt- und Energieforschung

Von Chemie-Wettervorhersagen, Weltrekord-Brennstoffzellen und Netzwerken für die Pflanzenforschung.

HILFE BEI BANDSCHEIBENSCHÄDEN

Wenn eine abgenutzte Bandscheibe unerträgliche Schmerzen verursacht und nicht-operative Behandlungsmethoden keine Linderung bringen, so kann es notwendig werden, die Bandscheibe durch ein Implantat zu ersetzen. Jülicher Forscher haben geholfen, solche Titan-Implantate zu verbessern: Mit ihrem patentierten Herstellungsverfahren lassen sich Größe und Anteil der Poren im Titan genau steuern, sodass sie optimal durch Knochenzellen besiedelt werden. Dr. Martin Bram, Dr. Hans-Peter Buchkremer und Prof. Dr. Detlev Stöver erhielten dafür gemeinsam mit der Medizintechnikfirma Synthes den mit 50 000 Euro dotierten Schrödinger-Preis.



URSPRUNG DER MASSE

Mithilfe des Jülicher Supercomputers JUGENE gelang es erstmalig einem internationalen Forscherteam, die Masse der wichtigsten Bausteine der Materie – Protonen und Neutronen – zu berechnen. Die aufwändigen Simulationen der Wissenschaftler bestätigen die Richtigkeit einer grundlegenden physikalischen Theorie, der Quantenchromodynamik. Die Redakteure des renommierten Wissenschaftsmagazins „Science“ wählten diese Forschungsarbeit in ihre Top-Ten-Liste der „Durchbrüche des Jahres 2008“.



Forschung im Überblick

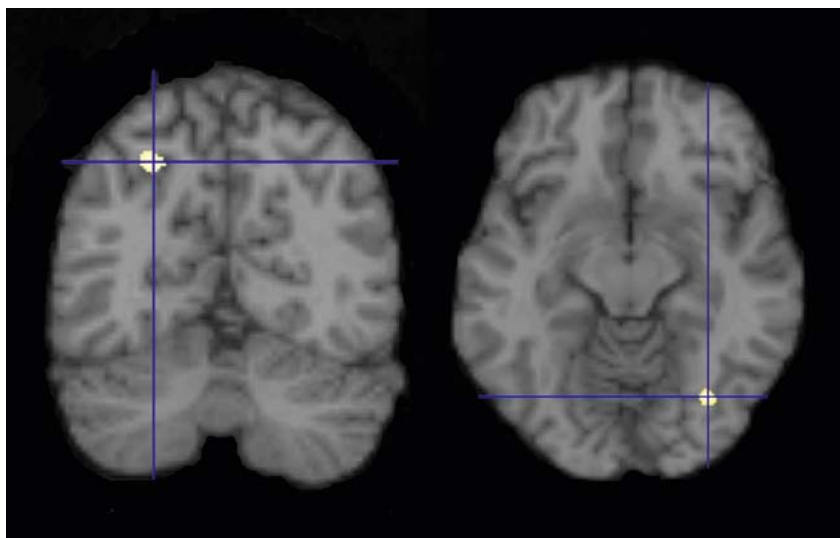
Die Jülicher Umweltforschung steht im Mittelpunkt dieses Magazins. Jülicher Wissenschaftler sind aber auch auf anderen Forschungsgebieten aktiv und erfolgreich.

LINKTIPP

www.fz-juelich.de/portal/kurznachrichten

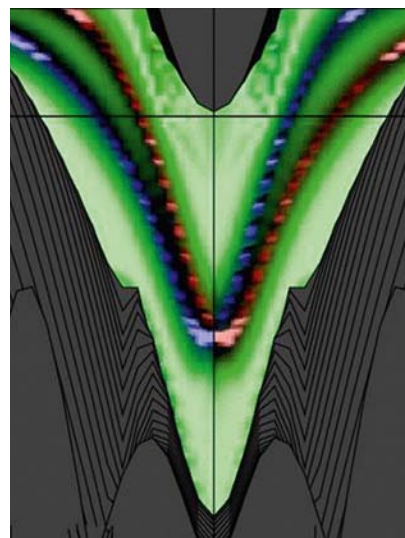
GEHIRNVERÄNDERUNGEN BEI SYNÄSTHETEN

Bei Menschen mit Synästhesie kann beispielsweise das Sehen eines Buchstabens eine zusätzliche Farbempfindung auslösen. Wissenschaftler des Forschungszentrums Jülich und der Kölner Universitätsklinik wiesen mit der Magnetresonanztomografie nach, dass bei Synästheten die graue Gehirnschicht im linken Scheitellappen (links) und im rechten unteren Schläfenlappen (rechts) vermehrt ist. Während die Gehirnregion im unteren Schläfenlappen auf die Farbwahrnehmung spezialisiert ist, ist der Scheitellappen für die Verknüpfung von Sinneseindrücken zuständig.



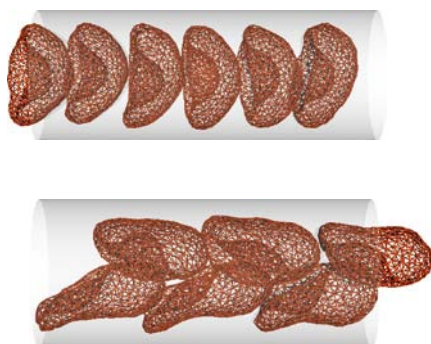
BLICK AUF QUANTENEFFEKT

Eine internationale Forschergruppe, darunter der Jülicher Chemiker Dr. Gustav Bihlmayer, maß erstmals direkt den Spin der Elektronen in einem Material, das den 2004 theoretisch vorhergesagten Quanten-Spin-Hall-Effekt aufweist. Dieser Effekt könnte es künftig ermöglichen, die Information von Speichermedien nahezu verlustfrei zu transportieren und elektrisch zu manipulieren.



BLUT IN BEWEGUNG

Physiker aus Jülich und Tokio fanden mit aufwändigen Computersimulationen heraus, dass sich rote Blutkörperchen in engen Kapillaren fallschirmförmig in einer Reihe ausrichten, wenn ihr Gehalt im Blutstrom niedrig ist (oben). Bei höherer Dichte verändern die Blutkörperchen ihre Form und ordnen sich reißverschlussartig in zwei Reihen an (unten). Beim Übergang dieser beiden Zustände steigt der Strömungswiderstand des Blutes sprunghaft an.



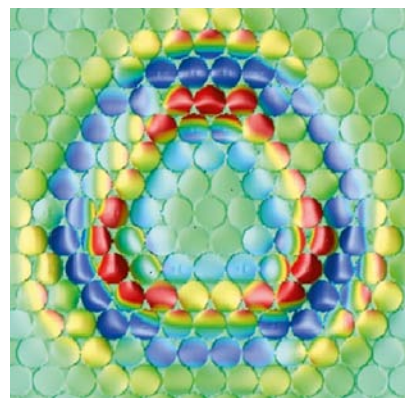
SIMULIEREN MIT PETAFLUP/S

Seit Mai 2009 stehen in Jülich drei neue Supercomputer für die europäische Forschung. Der leistungsstärkste unter ihnen kann eine Billion Rechenoperationen pro Sekunde, kurz ein Petaflop/s, ausführen und war damit bei seiner Einweihung der schnellste Rechner Europas und weltweit Nr. 3. Bei einem Festakt unterstrichen Bundesforschungsministerin Annette Schavan und NRW-Ministerpräsident Jürgen Rüttgers die Bedeutung des Supercomputing für die Rolle Deutschlands und Europas im internationalen Wettbewerb.



NANOECHOLOT

So wie ein Echolot Schallwellen aussendet, um die Tiefen der Ozeane zu erkunden, können Elektronen von Rastertunnelmikroskopen genutzt werden, um tief verborgene Eigenschaften des Atomgitters der Metalle zu untersuchen. Auf diese Weise machten Wissenschaftler aus Jülich, Göttingen und Halle die sogenannten Fermi-Flächen im Innern sichtbar, durch die beispielsweise Leitfähigkeit, Wärmekapazität und Magnetismus eines Metalls festgelegt werden.





:: DAS KLIMA VERSTEHEN

Boden, Biosphäre und Atmosphäre beeinflussen das lokale und globale Klima. Jülicher Wissenschaftler arbeiten daran, diese Faktoren so genau wie möglich zu erfassen und ihre vielfältigen Wechselwirkungen zu verstehen. Was genau geschieht im Boden, in Pflanzen und in der Luft? Wie wirken sich diese Prozesse auf das Klima aus, und wie reagieren sie auf natürliche Veränderungen und auf die Folgen menschlicher Aktivitäten? Das Ziel der Forscher ist es, Strategien für den Erhalt der Umwelt zu erarbeiten und eine nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen zu ermöglichen.



Fliegende Labors

Satelliten, Forschungs- und Linienflugzeuge sowie Luftschiffe transportieren die Messinstrumente in die Luft, mit denen Jülicher Forscher den Einfluss von Spurengasen und Schwebeteilchen auf das Klima untersuchen.

Experten schätzen die Zahl der Substanzen in der Atmosphäre auf 5 000 bis 8 000. „Darunter sind Spurengase, die entscheidend für die Eigenschaften der Atmosphäre sind und manchmal weniger als einen milliardstel Teil der Luft ausmachen“, sagt der Jülicher Atmosphärenforscher Prof. Martin Riese. Eine ganze Reihe von Substanzen wirkt sich dabei beträchtlich auf das Klima aus. Methan beispielsweise beeinflusst es auf kurze Sicht sogar ähnlich stark wie das Treibhausgas CO₂, das Hauptursache des Klimawandels ist.

Einzelne chemische Vorgänge lassen sich zwar im Labor am Boden untersuchen. „Fraglich ist dann jedoch häufig, inwieweit der Prozess auch in der Natur wirksam ist – so kann es etwa zu Rückkopplungen kommen, die sich unter Laborbedingungen nicht beobachten lassen“, erläutert Experte Dr. Franz Rohrer den Grund für die Jülicher Höhenflüge über den Polargebiet, dem Bodensee oder mitten in tropische Gewitterwolken hinein. Auch sind Wissenschaftler schon häufiger bei Freiluftmessungen auf Vorgänge gestoßen, die man auf Grundlage von Untersuchungen im Labor gar nicht vorhersagen konnte. Bekanntestes Beispiel dafür ist die Bildung des Ozonlochs über der Antarktis. Als Verursacher wurden überraschend die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) identifiziert, die, als Kühlmittel oder Treibgas eingesetzt, in die obere polare Atmosphäre gelangten und dort durch früher unbekannte chemische Reaktionen an Wolkenteilchen in ozonzerstörende Substanzen umgewandelt werden. „Zudem können meteorologische

Prozesse den Transport von Spurengasen über viele Hunderte Kilometer hinweg beeinflussen. Sie laufen damit auf einer Skala ab, die sich im Labor nicht nachstellen lässt“, sagt Riese.

Blick vom Satelliten in die Kaffeetasche

Nun mag man auf die Idee verfallen, die Atmosphärenforscher könnten auf ihre abwechslungsreichen Ausflüge verzichten und stattdessen einfach die Daten auswerten, die ihnen die Messgeräte von Satelliten frei Haus liefern. Doch die Wissenschaftler vom Jülicher Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre weisen hier unter anderem auf die mangelnde „räumliche Auflösung“ der Aufnahmen. Was damit gemeint ist, erläutert Franz Rohrer, Mitarbeiter des Bereichs „Troposphäre“, anhand der Tasse Kaffee, die vor ihm steht und in die er einen Tropfen Milch einrührt: „Sieht man darauf mit den Augen eines Satelliten, so kann man häufig nur die durchschnittliche Helligkeit des Kaffee-Milch-Gemischs erkennen. Ob die Milch aber gleichmäßig verteilt ist



Messgeräte auf Umweltsatelliten (links), im Zeppelin NT (Mitte) und in Forschungsflugzeugen wie HALO (rechts) liefern Jülicher Forschern einander ergänzende Informationen über Spurengase und Schwebeteilchen in der Atmosphäre.



oder sich Schlieren gebildet haben, ist nicht zu sehen.“ Auch liefern Erderkundungssatelliten nicht kontinuierlich Daten von einer bestimmten Region – doch der Gehalt vieler Spurengase verändert sich innerhalb von Stunden oder Minuten. Daher können Atmosphärenforscher nicht auf Flugzeuge und Zeppeline verzichten, die einfach näher am Geschehen sind.

Martin Riese und sein Team vom Bereich „Stratosphäre“ arbeiten aber auch daran, die Sehschärfe von Satellitenmessungen zu verbessern. Bisher können Satelliten bestenfalls den durchschnittlichen Gehalt eines Spurengases in einer drei bis fünf Kilometer hohen und mehrere Hundert Kilometer breiten Luftsäule ermitteln. Gemeinsam mit Kollegen aus dem Forschungszentrum Karlsruhe entwickeln die Jülicher Wissenschaftler ein Messinstrument, mit dem sich Spurengas-Mittelwerte mit einem Höhenabstand von weniger als einem Kilometer unterscheiden lassen – bei einem horizontalen Abstand von rund 50 Kilometern. Das Gerät ist wesentlicher Teil des Konzepts

PREMIER (PRocess Exploitation through Measurement of Infrared and millimetre-wave Emitted Radiation). Das Forschungszentrum Jülich und europäische Partner haben es als Erderkundungsmission vorgeschlagen, die von der „European Space Agency“ (ESA) mit Finanzmitteln von 300 Millionen Euro ausgestattet ist und 2016 beginnen soll. Bisher verlief die Bewerbung sehr erfolgreich: Aus 24 Vorschlägen wurden drei für ausführliche Studien des wissenschaftlichen Potenzials und der technischen Machbarkeit ausgewählt – darunter PREMIER. Erstmals getestet wird ein derartiges Messinstrument für mehr als 15 Spurengase schon 2010 auf dem Forschungsflugzeug HALO.

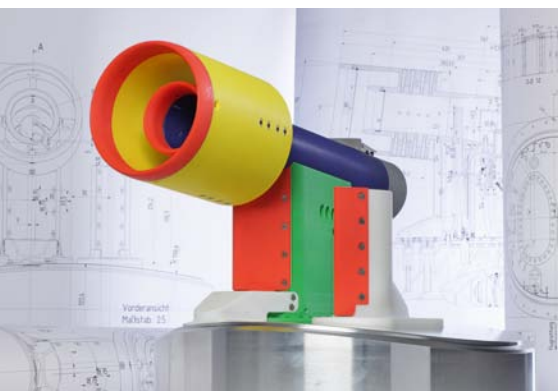
Neues Forschungsflugzeug

Dieser 62 Millionen Euro teure Jet im Dienste der Klima- und Atmosphärenforschung absolvierte seinen ersten Flug in Deutschland im Januar 2009. HALO übertrifft mit einer Reichweite von über 8 000 Kilometern, einer Flughöhe von mehr als

15 Kilometern und einer Nutzlast von drei Tonnen alle anderen europäischen Forschungsflugzeuge. „Mit HALO kann man gezielt in interessante chemische und meteorologische Situationen hineinfliegen und die dort ablaufenden Prozesse detailliert untersuchen“, sagt der Atmosphärenchemiker Dr. Andreas Volz-Thomas. Besonders haben die Jülicher Forscher dabei die sogenannte Tropopause zwischen fünf und 15 Kilometern über der Erdoberfläche im Visier. Sie spielt für den Klimawandel eine wichtige Rolle, da sich hier Änderungen von Treibhausgasen, Schwebeteilchen und Wolken besonders stark auf die Strahlungseigenschaften der Atmosphäre und somit auf die Temperatur am Boden auswirken.

100 Millionen Forschungskilometer

Linienflugzeuge dagegen meiden „interessante“ meteorologische Situationen wie etwa Gewitter und können keine tonnenschweren Messgeräte mitschleppen. Trotzdem lassen sie sich sehr erfolgreich für die Atmosphärenforschung nutzen.



Spezielle Lufteinlass-Systeme sind nötig, wenn Wissenschaftler mit einem Flugzeug die Atmosphäre erforschen wollen. Die Zentralabteilung Technologie im Forschungszentrum entwickelte für das HALO-Flugzeug dieses Einlass-System, mit dem hochreaktive, atmosphärische Spurenstoffe eingefangen und anschließend mit den Messgeräten, die sich im Inneren des Flugzeugs befinden, analysiert werden können.

Das zeigte das MOZAIC-Projekt, das vom Bereich „Troposphäre“ koordiniert wurde. Von 1994 bis 2004 reisten Messgeräte an Bord von fünf Airbus-Langstreckenfliegern mit und analysierten während mehr als 100 Millionen Flugkilometern die Luft der Tropopause. „So viele Daten über einen langen Zeitraum sind auf andere Weise nicht erhältlich. Auf ihnen beruhen inzwischen fast 150 wissenschaftliche Publikationen“, freut sich Volz-Thomas. Zu den herausragenden Erkenntnissen gehört, dass die obere Troposphäre über Ostasien weit mehr Kohlenmonoxid enthält als erwartet – eine Folge von Waldbränden und Brandrodung. Satelliten hatten die extrem hohen Kohlenmonoxid-Konzentrationen übersehen.

Aus dem zeitlich begrenzten Projekt MOZAIC geht jetzt das dauerhafte europäische Beobachtungssystem IAGOS-ERI hervor. „Wichtiger Bestandteil von IAGOS-ERI sind leichtere, einfacher zu wartende und leistungsfähigere Messinstrumente, die auch zur Nachrüstung von Flugzeugen zugelassen sind“, sagt Volz-Thomas, der Jülicher Projektleiter von IAGOS. Ende 2009 soll eine Lufthansa-Maschine erstmals mit den neuen Geräten ausgestattet werden.

Die Entdeckung der Langsamkeit

Für die Untersuchung der untersten Luftschicht der Atmosphäre bis 1 000 Meter Höhe fehlte lange Zeit ein fliegendes Labor. Die Messgeräte waren zu schwer und zu groß für die verfügbaren Forschungsflugzeuge, die zudem viel zu schnell fliegen, um erdnahe Daten mit hoher räumlicher Auflösung zu sammeln. Daher nahmen die Jülicher Wissenschaftler des Bereichs „Troposphäre“, geleitet

von Prof. Andreas Wahner, Kontakt zur Deutschen Zeppelin-Reederei in Friedrichshafen auf, die den Zeppelin NT betreibt – ein Luftschiff, in dem normalerweise Touristen die Aussicht auf den Bodensee genießen. Es kann in geringen Höhen langsam schweben, auf- und absteigen, in der Luft anhalten oder mit dem Wind fliegen und dabei bis zu einer Tonne Ausrüstung mit sich führen.

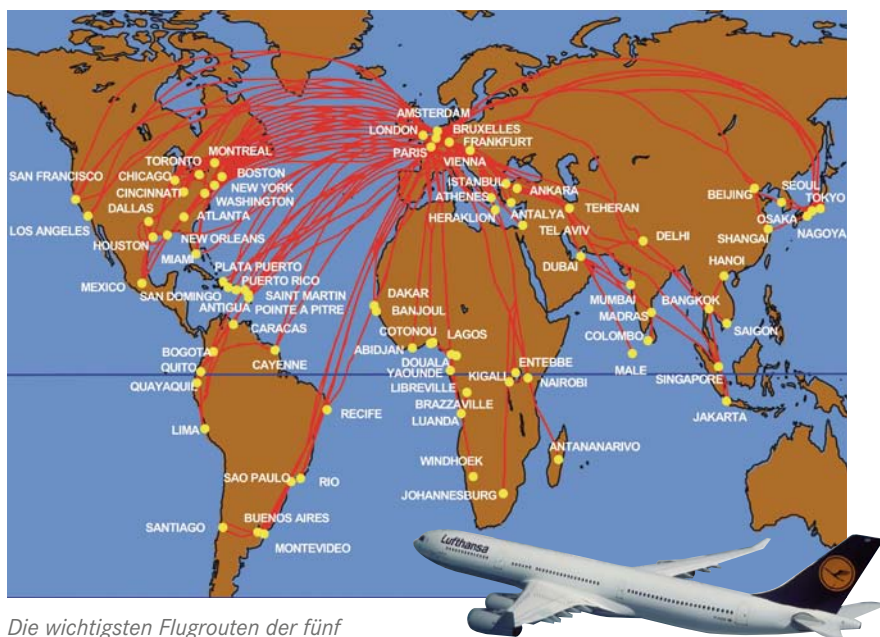
„Inzwischen haben wir mit dem Zeppelin NT zwei mehrtägige, sehr erfolgreiche Messkampagnen über Süddeutschland durchgeführt. Dabei haben wir unter anderem die Konzentration der sogenannten Hydroxyl-Radikale bestimmt – Verbindungen, die den Abbau der meisten Schadstoffe einleiten und damit so etwas wie das Waschmittel der Atmosphäre sind“, sagt der Jülicher Forscher

Dr. Andreas Hofzumahaus (zu OH-Radikalen siehe auch S. 29).

Spricht man ihn auf den touristischen Wert einer solchen Forschungsmission über dem Bodensee an, lächelt Hofzumahaus milde. Zeit, die schöne Aussicht zu genießen, hat dabei nämlich keiner. Stattdessen bedeutet so eine Mission für ein vielköpfiges Wissenschaftlerteam harte Arbeit: von der Messgeräteentwicklung über die Flugplanung bis zur Datenauswertung. Bei den Messflügen selbst darf dann neben dem Piloten nur ein Forscher mit an Bord sein – mehr Gewicht könnte der Zeppelin nicht tragen.

www.fz-juelich.de/portal/forschung/highlights/zeppelin

Frank Frick



Die wichtigsten Flugrouten der fünf Airbus-Linienflugzeuge des MOZAIC-Projekts. Die Geräte an Bord maßen unter anderem den Ozon- und den Kohlenmonoxid-Gehalt in der Atmosphäre.

Zwischen Himmel und Erde

Wälder und Felder entziehen der Atmosphäre das Treibhausgas Kohlendioxid (CO_2) und speichern den Kohlenstoff als Biomasse – Wissenschaftler sprechen von CO_2 -Senken. Der überwiegende Teil des Kohlenstoffs steckt dabei im Boden: in Wurzelwerk, Laubstreu und Humus. Bodenorganismen zersetzen die toten Pflanzenteile und geben das CO_2 allmählich wieder an die Atmosphäre ab. Doch unter welchen Bedingungen wird wie viel CO_2 geschluckt oder abgegeben? Wissenschaftler des Jülicher Instituts für Chemie und Dynamik der Geosphäre sind den Zusammenhängen auf der Spur.



Erkenntnisse aus nackter Erde

Ganz bodenständig arbeitet Dr. Michael Herbst. Auf seinem Versuchsfeld bei Selhausen wächst rein gar nichts. Mithilfe von umweltverträglichen Unkrautvernichtern und Bodenbearbeitung sorgt er mit seinen Kollegen im Projekt FLOWatch seit drei Jahren sorgfältig dafür, dass das Feld so kahl bleibt. Das Projekt ist Teil des Sonderforschungsbereichs (SFB) „Trans-

regio32“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Nur zersetztes Pflanzenmaterial von früherem Weizenanbau steckt noch im Feld. Herbst will wissen: Wie viel CO_2 gibt der nackte Boden an die Atmosphäre ab? Wie beeinflussen Regen oder Dürre, Schneefall, ein milder oder kühler Sommer den Fluss des Kohlenstoffs? Was bewirkt eine gröbere oder feinere Bodenstruktur? Um das heraus-

zufinden, stecken die Wissenschaftler nach unten offene Kammern von etwa 20 Zentimetern Durchmesser in die Erde und messen darin den Anstieg des CO_2 sowie Feuchtigkeit und Temperatur des Bodens.

„Den größten Einfluss hat die Temperatur“, berichtet Herbst. „Aber auch Trockenheit mögen die Bodenorganismen nicht.“ Allerdings herrschen hier Verhältnisse,



Mit einem Spektrometer ermittelt Anke Schickling die von der Oberfläche reflektierte Sonnenstrahlung; im Hintergrund das Messflugzeug „Eco-Dimona“, das die Konzentration von Wasser und Kohlendioxid in der Atmosphäre misst.

die die Wissenschaftler „nicht-linear“ nennen: Man kann keinesfalls damit rechnen, dass eine bestimmte Erhöhung der Bodenfeuchtigkeit immer in gleichem Maße den Abbau von Pflanzenresten im Boden steigert. Wenn es zu nass wird, gibt der Boden sogar weniger CO₂ ab. „Die Bodenporen sind dann gleichsam verstopft, das Gas kann nicht mehr zirkulieren“, erläutert Herbst. Nur mit vielen Messdaten vom kahlen Feld lassen sich die Zusammenhänge genau klären.

Vom Boden zum Feld

Normalerweise besitzen Böden in unseren Breiten jedoch eine mehr oder weniger dichte Pflanzendecke. Wie die Vegetation den Austausch zwischen Boden und Atmosphäre beeinflusst, möchten Dr. Alexander Graf und seine Kollegen im Projekt FLUXPAT herausfinden, das ebenfalls zum SFB „Transregio32“ gehört. Sie senken ihre CO₂-Messkammern daher zwischen Getreide oder Zuckerrübenpflanzen in den Ackerboden. „Um den oberirdischen Pflanzenteil kümmern wir uns dabei erst einmal nicht“, erläutert Graf. Ihn interessiert zunächst, was an der Grenze von Boden und Atmosphäre auf einem von lebendigen Wurzeln durchzogenen Feld geschieht.

Für die Vegetation selbst interessiert sich Dr. Uwe Rascher. Er verfolgt mit

seinen Kollegen die Fotosyntheseaktivität der Pflanzen. Dafür messen die Forscher sowohl im Feld als auch von Flugzeugen oder künftig sogar von Satelliten aus die Fluoreszenz der Grünpflanzen im Sonnenlicht. Je weniger Fluoreszenz, desto größer die Fotosyntheseaktivität, desto eifriger entziehen die Pflanzen also der Atmosphäre CO₂. Sogenannte Eddy-Kovarianz-Messgeräte registrieren das Auf und Ab von kleinen Luftwirbeln (engl. Eddy) über dem Feld und messen Temperatur, Wasserdampf und den vertikalen CO₂-Fluss – also die Summe dessen, was Boden und Pflanzen bewirken. „Dabei sollte unterm Strich das herauskommen, was Kammermessungen und Pflanzenmessungen addiert ergeben“, erläutert Graf. „Tatsächlich stimmen die Ergebnisse bisher recht gut überein.“

„Wir vergleichen dabei einerseits verschiedene Formen des Bewuchses“, berichtet Rascher. „Andererseits wollen wir wissen, wie wechselnde Umweltbedingungen, etwa Temperatur, Sonneneinstrahlung oder Feuchtigkeit, sich auf die Fotosynthese und die Aufnahme von CO₂ im Tagesverlauf auswirken.“ Mit den vielen Daten füttern sie schließlich ihre Computer, um Modelle weiterzuentwickeln. Diese sollen vorhersagen, wie sich die globale Erwärmung auf verschiedene landwirtschaftliche Kulturen und natürliche Ökosysteme auswirkt.

Eingesperrte Bäume

Aus einem anderen Blickwinkel betrachtet Dr. Astrid Kiendler-Scharr den Zusammenhang von Vegetation und Klimawandel. Ihre Arbeiten sind Teil des EU-Projekts EUCAARI (European Integrated



Mit Experimenten in Pflanzenkammern untersucht Astrid Kiendler-Scharr, welche Stoffe Pflanzen an die Luft abgeben.

Project on Aerosol Cloud Climate and Air Quality Interactions). Sie sieht Pflanzen nicht nur als Verbraucher des Treibhausgases CO₂, sondern auch als Produzenten von Emissionen, die das Klima beeinflussen. „Jeder, der schon einmal im Sommer in einem Kiefernwald spazieren gegangen ist, hat wahrgenommen, dass Bäume Stoffe an die Atmosphäre abgeben“, sagt sie. „Der würzige Duft rührt von einer Vielzahl flüchtiger Substanzen her.“



Hier wird die Fluoreszenz eines Blattes gemessen und daraus die Fotosyntheseaktivität der Pflanze bestimmt.

Reagieren diese mit Ozon und anderen Sauerstoffverbindungen, verbinden sie sich zu Partikeln, die die Wolkenbildung fördern und so der Erderwärmung entgegenwirken. „Allerdings herrscht unter Experten große Uneinigkeit, wie stark dieser Effekt ist – die Schätzungen unterscheiden sich um das 10- bis 100fache“, berichtet Astrid Kiendler-Scharr.

Um Genaueres zu erfahren, steckt die Wissenschaftlerin kleine Bäume in große Glasgefäße der Kollegen vom Pflanzeninstitut. So kann sie messen, was die Pflanzen absondern, wie daraus Partikel entstehen und wie sich Stress durch Hitze, Trockenheit oder Schädlingsbefall auf die Pflanzen auswirkt. „Höhere Temperaturen zum Beispiel vergrößern tendenziell die Menge der Emissionen aus Bäumen und damit die Aerosolbildung“, berichtet die Forscherin. Die globale Erwärmung könnte damit zugleich die Kühlung durch Aerosole erhöhen.

Ein Wald unter Beobachtung

Mit einzelnen Bäumen gibt sich Dr. Thomas Pütz nicht zufrieden. Sein Versuchsgegenstand ist ein ganzer Wald: das Wassereinzugsgebiet im oberen Verlauf des Wüstebachs im Nationalpark Eifel. Es ist zugleich Teil des Rur-Observatoriums, eines 2 400 Quadratkilometer großen Gebiets entlang der Rur, das im Langzeitprojekt TERENO beobachtet wird (siehe auch Kasten S. 17).

Nach Kriegsende wurden am Wüstebach Fichten für die Holzproduktion angepflanzt. Jetzt soll der Forst in einen standortgerechten Mischwald umgewandelt werden. Doch bislang ist unklar, wie sich dies Vorhaben auswirken wird: Wie viel Kohlendioxid und Stickstoff werden vor- und nachher gespeichert oder abgegeben? Wie verändern sich Wasserhaushalt, Pflanzen- und Tierwelt? „Wir wollten es fast nicht glauben, als wir feststellen mussten, dass es keine Studien gibt, die eine solche Umstrukturierung interdisziplinär begleitet haben“, sagt Pütz.

Mit seinen Kollegen aus Jülich sowie von den Universitäten Trier, Bonn und Aachen trägt er nun dazu bei, diese Wissenslücke zu füllen. Seit 2007 durchziehen die Wissenschaftler das 27 Hektar große Areal mit einem Netzwerk von Bodensensoren, um beispielsweise die Bodenfeuchtigkeit in unterschiedlichen Tiefen zu messen. In der Mitte des Bestandes stehen ein Regenradar und eine Wetterstation. Die CO₂-Abgabe des Waldbodens wird an vielen Messpunkten registriert, ebenso wie die Menge der Kohlenstoffverbindungen im Wasser. Die Wissenschaftler zählen und bestimmen Tier- und Pflanzenarten und schätzen die Biomasse im Ökosystem. In sogenannten Lysimetern – oben offenen Metallzylindern, die ausgestochene Bodenblöcke von etwa 1,5 Kubikmetern enthalten –



Ausgestochene Bodenstücke in so genannten Lysimetern helfen zu verstehen, welche Rolle das Wasser und die Bodenstruktur beim Transport von Stoffen spielt, und wie Klimaveränderungen diese Prozesse beeinflussen.

wird der Wasser- und Stofftransport mit Sensoren, die über Funk mit einem Rechner verbunden sind, in Echtzeit überwacht.

Bis die ersten Fichten fallen, soll eine Bestandsaufnahme fertig sein, die dann erlauben wird, Veränderungen zu erfassen. „Wir nehmen an, dass der Waldboden nach einer Rodung zunächst viel CO₂ abgibt, und dass nach einer Wiederaufforstung Jahre vergehen, bis der Wald wieder zur CO₂-Senke wird“, sagt Pütz. Doch ist der genaue Verlauf umstritten und wird sich abschließend erst klären lassen, wenn die Daten vorliegen.

Erst die kombinierten Ergebnisse aller Projekte können umfassend klären, wie Klima, Boden und Pflanzen einander beeinflussen.

Wiebke Rögener

Globaler Klimawandel – regional beobachtet

Wie wirkt sich der Klimawandel in Deutschland aus? Welche ökologischen und wirtschaftlichen Folgen hat er in den Regionen – vom norddeutschen Tiefland bis zu den Alpen? Das herauszufinden, ist Ziel des Projekts TERENO (TERrestrial ENvironmental Observatories). Prof. Dr. Harry Vereecken, Direktor des Jülicher Instituts für Chemie und Dynamik der Geosphäre, koordiniert gemeinsam mit seinem Jülicher Kollegen Dr. Heye Bogen das Netzwerk aus sechs Helmholtz-Zentren.



werden derart große und vielfältige Landschaftsräume langfristig und Disziplinen übergreifend untersucht. Das Beobachtungsgebiet, für das Jülich die Federführung hat, das Rur-Observatorium, reicht von der Eifel zur Niederrheinischen Bucht und ist damit so groß wie Luxemburg. Mindestens 15 Jahre lang werden wir hier Daten sammeln, zum Treibhausgas Kohlendioxid (CO_2) und zum Klima, aber auch zum Stickstoffhaushalt, zur Methanbildung, zur Wasser- und Bodenqualität oder zur biologischen Vielfalt. Gleichzeitig erfassen wir die Landnutzung. Welche Folgen haben etwa Aufforstungen oder Tagebaue? Müssen Landwirte künftig mehr bewässern? Bislang gibt es dazu keine ausreichenden Daten.

Frage: Messstationen, die das Klima beobachten gibt es viele – was ist das Besondere an TERENO?

Vereecken: Einzigartig ist, dass wir in vier Regionen Deutschlands alle Bestandteile des terrestrischen Systems – also Boden, Grundwasser, Pflanzen und Atmosphäre – intensiv beobachten. Zum ersten Mal

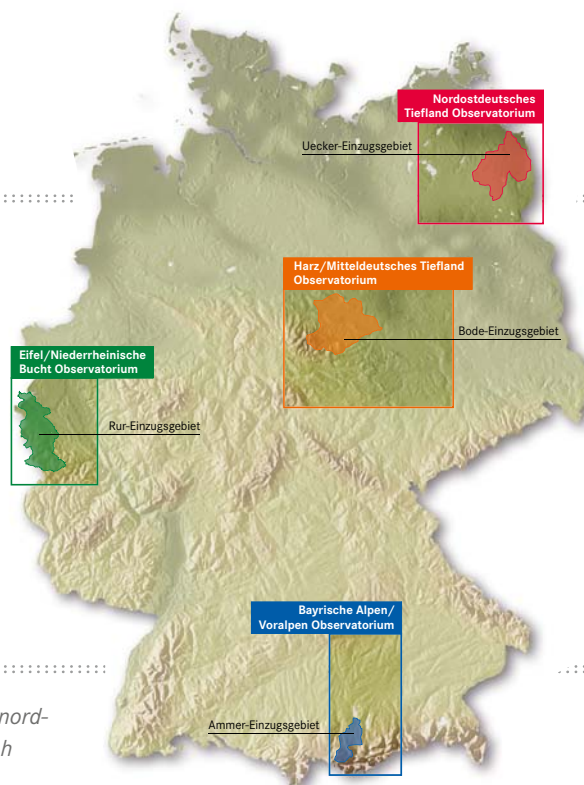
Frage: Welche Wissenslücken sind besonders gravierend?

Vereecken: Ausnehmend wenig wissen wir über Vorgänge in tieferen Bodenschichten. Dabei spielen sie für das Klima eine enorme Rolle: Hier lagert ein Großteil des gebundenen Kohlenstoffs, weltweit geschätzte 1 600 Milliarden Tonnen. Es ist daher sehr wichtig herauszufinden,

TERENO – die Fakten

Das nationale Observatorien-Netzwerk wird von sechs Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft betrieben: dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, dem Forschungszentrum Karlsruhe, dem Helmholtz-Zentrum München, dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, dem Helmholtz-Zentrum Potsdam und dem Forschungszentrum Jülich, das die Koordinierung übernommen hat. Das Projekt ist auf zunächst 15 Jahre angelegt und wird von der Helmholtz-Gemeinschaft in den nächsten drei Jahren mit 12 Millionen Euro finanziert. Hinzu kommen Mittel für Teilprojekte, wie das Lysimeter-Netzwerk SoilCan (3,6 Mio Euro) und TERENO-ICOS zur Messung von Spurengasen (2,75 Mio Euro). 2007 hat der Aufbau des Netzwerks begonnen, offizieller Programmstart war Ende 2008. www.tereno.net

Das Projekt TERENO spannt ein deutschlandweites Netz zur Erdbeobachtung. Vom nord-deutschen Tiefland bis zu den Alpen werden Umweltveränderungen in vier klimatisch unterschiedlichen Regionen (Observatorien) untersucht.



wie schnell er umgesetzt und wieder als CO₂ an die Atmosphäre abgegeben wird, und wie der Temperaturanstieg oder Veränderungen im Wasserhaushalt diesen Prozess beeinflussen.

Frage: Wie gewinnen Sie diese Informationen?

Vereecken: Wir nutzen eine Vielfalt von Methoden, von der Fernerkundung mittels Satelliten über Radarstationen bis zu Sonden im Boden, oder sogenannten Lysimetern. Das sind ausgestochene Bodenkerne von etwa 1,5 Kubikmetern in unten offenen Metallcontainern, in denen wir den Wasser- und Stofftransport genau messen können. Im Rahmen von SoilCan, einem Teilprojekt von TERENO, werden in den vier Observatorien insgesamt 120 Lysimeter installiert. Alle Messwerte werden per Funk übertragen und in Echtzeit überwacht.

Frage: Bodenstücke in großen Blechdosen also – was können Sie damit herausfinden?

Vereecken: Unter anderem werden Lysimeter an andere Standorte versetzt,

sowohl innerhalb als auch zwischen den Observatorien – etwa von Gebieten mit viel Regen zu Gebieten mit geringerem Niederschlag oder von kühleren in wärmere Regionen. Wir sehen dann beispielsweise, was geschieht, wenn Grasland- oder Ackerböden des Rur-Observatoriums größerer Trockenheit ausgesetzt werden, wie sie im Osten Deutschlands herrscht. So simulieren wir künftige Klimaveränderungen.

Frage: Warum dauern die Messungen so lange?

Vereecken: Für solche Untersuchungen sind 15 Jahre eher ein kurzer Zeitraum. Im Boden stabil gebundener Kohlenstoff braucht mehrere Hundert Jahre, bis er abgebaut ist. Auch wollen wir nicht Witterschwankungen einiger Jahre untersuchen, sondern die Entwicklung und die Auswirkung langanhaltender Klimatrends. Deshalb ist es auch wichtig, dass TERENO mit anderen langfristigen Forschungsvorhaben verknüpft ist, beispielsweise mit dem EU-Projekt NOHA (Network of Hydrological Observatories), das den Wasserhaushalt in vielen Regionen

Europas erfassen soll. Unsere Arbeit im Rur-Observatorium ist außerdem unmittelbar mit dem Sonderforschungsbereich „Transregio32“ (TR-32) verknüpft, in dem das Forschungszentrum Jülich mit den Universitäten Köln, Bonn und Aachen zusammenarbeitet. Der TR-32 nutzt dieselbe Infrastruktur, die von der Helmholtz-Gemeinschaft zur Verfügung gestellt wird.

Frage: Können Sie damit auch in die Zukunft sehen?

Vereecken: Wenn wir Satellitendaten, detaillierte Messungen zu Niederschlägen und Bodenfeuchtigkeit sowie Informationen zum Grundwasserstand kombinieren, können wir beispielsweise genauer als heute vorhersehen, ob Hochwassergefahr besteht. Mit den gekoppelten Messdaten werden wir Modelle weiterentwickeln, die bessere regionale Voraussagen darüber erlauben, wie das Klima sich wandeln wird und mit welchen ökologischen und wirtschaftlichen Folgen wir rechnen müssen.

Interview: Wiebke Rögener



Eiswolken im Treibhaus Erde

Jülicher Wissenschaftler haben bei Forschungsflügen den Wassergehalt von Zirrus-Eiswolken akribisch gemessen und so geholfen, deren Rolle im Klimageschehen besser zu verstehen. Außerdem haben sie Überraschendes über organische Aerosole herausgefunden, die bei der Wolkenbildung eine Rolle spielen.

Ein Pferd rennt über grönländisches Eis. Begleitet wird es von einer Wolke, die zeitweise bis zu 50 Meter hoch ist. Als das der Polarforscher Alfred Wegener bei einer Expedition in den Jahren 1911 und 1912 beobachtete, erkannte er, dass die Luft „übersättigt“ sein kann. Das heißt, sie enthält mehr Wasserdampf, als sie eigentlich dürfte. Denn das überschüssige Wasser kristallisiert nur dann gemäß der herrschenden Temperatur zu Eis, wenn es in der Luft auf Partikel oder Tröpfchen trifft. Weil das Pferd diese Partikel mit seinem feuchten Atem ausstößt, bildet sich augenblicklich eine Wolke aus Eiskristallen. Das von Wegener

erstmalig beschriebene Phänomen der Übersättigung ist heute ein viel beachtetes Thema der Atmosphären- und Klimaforschung, zu dem Jülicher Wissenschaftler neue Erkenntnisse beigetragen haben.

Wolken in sechs bis 20 Kilometern Höhe, die ausschließlich aus Eis- und Schneekristallen bestehen, beeinflussen den Wärmehaushalt der Erde. Einerseits reflektieren sie einfallendes Sonnenlicht zurück in den Weltraum. Andererseits vermindern sie die Wärmeabstrahlung von der Erdoberfläche ins All. „Zirruswolken können daher sowohl kühlend als auch wärmend wirken – wie die Gesamtbilanz aussieht, ist derzeit noch unklar“, sagt Dr. Martina Krämer, Leiterin der Arbeitsgruppe „Wolken“ des Jülicher Bereichs „Stratosphäre“ (ICG-1). Für den Weltklimarat (IPCC) ist die Art der „Rückkopplung“ zwischen der globalen Klimaerwärmung und der Klimawirkung von

Wolken ein wesentlicher Unsicherheitsfaktor bei allen Prognosen: Werden speziell die Zirruswolken, die am Himmel meist als zart-weiße Büschel oder Bänder auftreten, das „Treibhaus Erde“ noch zusätzlich anheizen, oder dämpfen sie eher den weltweiten, vom Menschen verursachten Temperaturanstieg?

Bessere Klimamodelle

Wer diese Frage beantworten will, muss zunächst in Erfahrung bringen, unter welchen Bedingungen sich die Zirruswolken bilden. Daher haben Jülicher Wissenschaftler ausgefeilte Geräte zur Bestimmung des Wasserdampfgehaltes in Eiswolken und im klaren Himmel entwickelt und sie bei über 100 Forschungsflügen über den Tropen, über der Arktis und in mittleren geografischen Breiten eingesetzt. „Auf diese Weise erhielten wir eine qualitätskontrollierte Datensammlung, die vom Umfang her einzigartig ist

Polare Eiswolken in der oberen Stratosphäre, aufgenommen von einem Umweltsatelliten.



Gefrierender Atem macht ein Phänomen sichtbar, das Atmosphären- und Klimaforscher beschäftigt: die „Übersättigung“ der Luft mit Wasserdampf.

und die selbst Zirruswolken bei sehr niedrigen Temperaturen bis zu minus 90 Grad Celsius erfasst“, sagt Krämers Kollege Dr. Cornelius Schiller, Leiter der Arbeitsgruppe „Wasserdampf“. Die Messungen zeigten, dass die Dichte der Wolken – entscheidend für die Strahlungsreflexion – und ihr Wassergehalt mit größeren Höhen bei zugleich sinkenden Temperaturen sehr rasch abnimmt. Zudem bestimmten die Forscher das Ausmaß, in dem es innerhalb und außerhalb der Eiswolken zur Übersättigung kommt. „Unsere Daten sind bereits in Klimamodelle eingeflossen und ermöglichen es, die Bildung von Zirruswolken wirklichkeitsnäher am Computer zu simulieren“, freut sich Schiller. Zudem fanden die Jülicher Forscher heraus, dass die gemessenen hohen Übersättigungen gut zu

der Zahl der Eiskristalle in den Wolken passten, die von Mainzer Wissenschaftlern bei einem Teil der Flüge registriert wurde. Denn diese Anzahl war unerwartet niedrig, sodass die Eiskristalle in der Summe weniger Wasser aufnehmen konnten, als bisher angenommen.

Alternde Substanzen und Aerosole

Auf der Suche nach einer Erklärung muss man wissen: Auch in der oberen Troposphäre kann der Wasserdampf – wie es Alfred Wegener dicht über dem Boden beobachtet hat – nur zu Eis kristallisieren, weil es dort Schwebeteilchen gibt. Diese sogenannten Aerosole können chemisch gesehen sehr unterschiedlicher Natur sein und etwa aus Salz, Ruß oder mineralischem Staub bestehen. „Eine Vermutung ist, dass die Aerosole häufi-

ger als gedacht organisches Material enthalten und daher verhältnismäßig schlechte Kristallisationskeime für das Eis sind“, so Krämer.

Dies wirft auch ein neues Licht auf die Forschung von Wissenschaftlern des Bereichs „Troposphäre“ (ICG-2), die diese organischen Aerosole innerhalb des EU-Projekts EUCAARI (European Integrated Project on Aerosol Cloud Climate and Air Quality Interactions) eigentlich untersuchen, weil sie Keime für Wasserwolken sind. „Den kühlenden Effekt dieser Wolken hat schon jeder von uns gespürt“, sagt Dr. Thomas Mentel, Leiter der Abteilung „Aerosole“. Wasserwolken in den unteren Kilometern der Atmosphäre sind wichtige Gegenspieler bei der Erwärmung der Erdatmosphäre durch Treibhausgase.

Die Jülicher Wissenschaftler erforschen, wie organische Aerosole entstehen und warum es in der Atmosphäre so viel davon gibt. Prinzipiell bekannt ist, dass Bäume flüchtige Substanzen abgeben, die Chemiker als Terpene bezeichnen. Aus ihnen bilden sich mit Ozon und anderen Sauerstoffverbindungen bei Sonnenlicht Aerosole (siehe auch „Zwischen Himmel und Erde“, S. 13). In der Atmosphären-Simulationskammer „SAPHIR“ haben die Jülicher Forscher diesen Prozess nachgestellt. Dabei haben sie herausgefunden, dass man die Menge des gebildeten Aerosols deutlich unterschätzt, wenn man nur die direkte Reaktion der Terpene berücksichtigt. Denn auch die Oxidationsprodukte, die aus den Terpenen entstehen, bilden noch Tage später Aerosole. „Das ist eine heiße Spur auf der Suche nach fehlenden Quellen für organische Aerosole“, ist Mentel überzeugt.

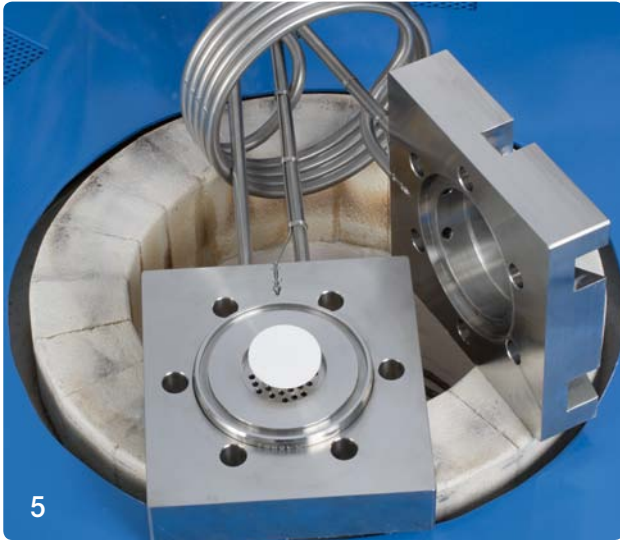
Frank Frick



1



2



5



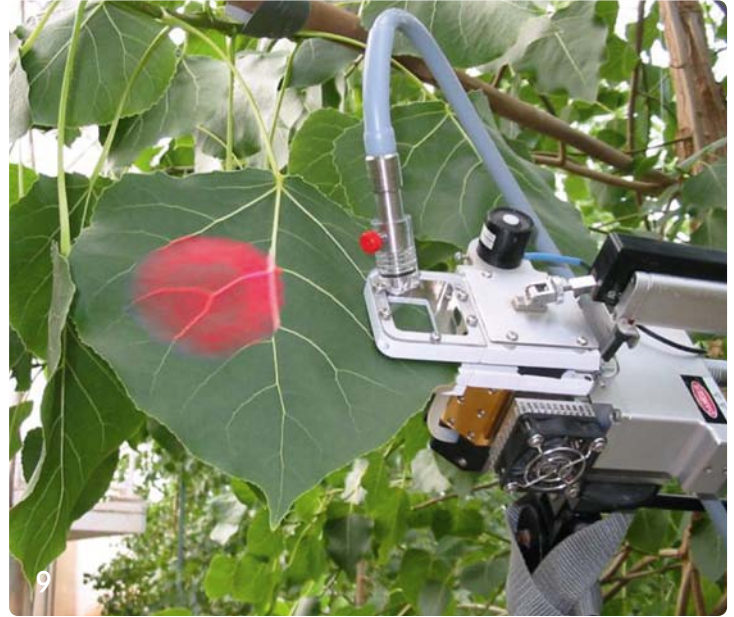
6



7

Klima – beobachten, verstehen, handeln

Mit einer Vielzahl von Geräten und Methoden erforschen Jülicher Wissenschaftler verschiedene Faktoren, die das Klima beeinflussen. Ziel ist es, diese Prozesse im Detail zu verstehen und daraus Handlungsempfehlungen für den Klimaschutz zu entwickeln.



- 1 Wolken können mal kühlend, mal wärmend auf das Klima wirken.
- 2 Der Zeppelin trägt Messinstrumente bis in 1000 Meter Höhe.
- 3 Umweltsatelliten liefern immer genauere Messungen von Spurengasen in der Atmosphäre.
- 4 Das Höhenforschungsflugzeug HALO kann drei Tonnen Messinstrumente mitführen.
- 5 Mit solchen Membranen wird Kohlendioxid aus Abgasen „ausgesiebt“.
- 6 Brennstoffzellen liefern klimafreundlich Energie.
- 7 Algen verbrauchen Kohlendioxid und liefern nachwachsende Rohstoffe.
- 8 Ein Radiometer misst den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens.
- 9 Über die Fluoreszenz wird die Fotosyntheserate einer Pflanze bestimmt.
- 10 Lysimeter liefern Umweltinformationen aus dem Erdreich.



Vom Treibhausgas zum Rohstofflieferanten

Kohlendioxid (CO₂) lässt sich auch intelligent nutzen: Man kann damit Algen „füttern“, die als Quelle für Chemieprodukte dienen und in Form von Biogas oder Biosprit Energie liefern. Jülicher Forscher bringen ihr Know-how in die weltweit fortschrittlichste Algenzuchtanlage zur effizienten CO₂-Umwandlung im RWE-Kraftwerk Bergheim-Niederaußem ein.



Der Wissenschaftler Thorsten Brehm untersucht die Salzwasser-Algen-Mischung in den Kunststoffschläuchen der Pilotanlage in Niederaußem.

Kohlendioxid, wie das CO₂ mit vollem Namen heißt, ist ein Treibhausgas und gilt als wichtigste Ursache für die globale Klimaerwärmung. „Doch man sollte auch seine andere Seite sehen“, gibt Pflanzenforscher Prof. Ulrich Schurr, Direktor des Jülicher Instituts für Chemie und Dynamik der Geosphäre, zu bedenken. Denn CO₂ ist für das Leben auf der Erde unersetzlich. Vor allem benötigen die grünen Pflanzen das Gas zur Fotosynthese: Sie produzieren daraus mithilfe von Sonnenlicht Zuckermoleküle, die ihnen als Energiespeicher und als Baumaterial für Blätter, Stängel und Stämme dienen.

Bereits heute gehen aus Pflanzen rund zehn Prozent aller Produkte der chemischen Industrie hervor – ein Anteil, der künftig deutlich steigen wird. Denn Erdöl, das als Quelle für Benzin, Kunststoffe und Medikamente dient, wird knapp. Zudem können Produkte, die auf Pflanzen basieren, wesentlich klimafreundlicher sein. Sie geben am Ende ihrer „Lebenszeit“ nur so viel CO₂ ab, wie die Pflanzen während ihres Wachstums aus der Luft aufgenommen haben.

Die Flächen allerdings, auf denen die Pflanzen wachsen – gleich ob Wälder, Plantagen oder Ackerland – lassen sich nicht beliebig ausweiten. Um die begrenzt verfügbaren Kulturpflanzen konkurrieren heute Kraftstoffhersteller und chemische Industrie mit der Lebensmittelbranche. Einen Ausweg aus diesem Dilemma bietet die Produktion von Biomasse, die nicht für Nahrungsmittel genutzt wird. „Das Ziel ist es, möglichst viel Biomasse in kurzer Zeit zu erhalten, ohne dabei große Mengen kostbaren Wassers und hochwertige Ackerfläche zu verbrauchen“, erläutert Schurr.

Algen brauchen keinen Acker

Vielversprechende Kandidaten für die Biomasseproduktion sind Mikroalgen: Ihre Wachstumsrate ist sieben- bis zehnmal so hoch wie die von Landpflanzen. Zudem lassen sie sich in geschlossenen Anlagen produzieren, sodass Standorte genutzt werden können, deren Böden für den Pflanzenanbau nicht geeignet sind. Salzwasseralgen, wie sie zum Beispiel von Wissenschaftlern der Jacobs Universität Bremen erforscht werden, eignen



sich besonders gut: Während im Süßwasser leicht Gär- und Faulprozesse einsetzen, fühlen sich die dafür verantwortlichen Mikroorganismen im Salzwasser nicht wohl. Gemeinsam mit den Bremer Kollegen und dem Unternehmen RWE hat es sich das Jülicher Wissenschaftlerteam um Schurr zur Aufgabe gemacht, die Produktion von Salzwasseralgen zu verbessern und die Verwertungsmöglichkeiten der entstehenden Biomasse zu erforschen.

Energieversorger RWE hat dafür im November 2008 eine 600 Quadratmeter große Pilotanlage zur Algenzucht in Betrieb genommen. Die Algen darin werden direkt mit Rauchgas „gefüttert“, das aus dem benachbarten Braunkohlekraftwerk

Niederaußem stammt. Das Rauchgas gelangt dabei zunächst in einen sogenannten Blasenreaktor. Darin befindet sich ein Gemisch aus Salzwasser und Algen, das solange CO_2 aus dem Rauchgas aufnimmt, bis es gesättigt ist. Das verbleibende Gas enthält entsprechend weniger CO_2 und strömt über einen Kamin nach außen. Dagegen wird die CO_2 -reiche Algen-Salzwasser-Mischung aus dem Blasenreaktor in ein Gewächshaus mit transparenten, V-förmigen Kunststoffschläuchen geleitet. Darin wachsen die Algen. Geerntet werden sie letztlich, indem man sie wieder aus dem Salzwasser herausfiltert. Insgesamt produziert die Anlage pro Jahr bis zu 6 000 Kilogramm Algen und verwertet dabei 12 000 Kilogramm Kohlendioxid aus dem Rauchgas.

Raffinierte Regelung

Parallel zur laufenden Algenzucht in Bergheim-Niederaußem arbeiten die Forscher um Schurr daran, die Produktion effizienter zu machen. Ihr Ansatzpunkt: Neben Kohlendioxid ist für das Algenwachstum auch das Angebot an Nährstoffen und Licht sowie die Temperatur wichtig. Die Wissenschaftler verfolgen daher eine raffinierte Regelungsstrategie. Sensoren messen regelmäßig und berührungslos den Zustand und das Wachstum der Algen. Entsprechend den gewonnenen Daten wird dann das Angebot an CO_2 und Nährstoffen automatisch angepasst, sodass die Algen optimal gedeihen können. Wie „fit“ die Algen sind, kann dabei etwa durch Messung der Chloro-

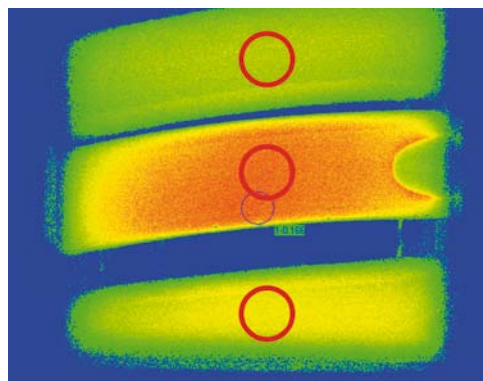
In Kunststoffschläuchen produzieren Mikroalgen Biomasse und verbrauchen dabei Kohlendioxid.

phyll-Fluoreszenz bestimmt werden. Je aktiver die Algen Fotosynthese betreiben können, desto mehr Energie setzt das dafür verantwortliche Chlorophyll in Form eines messbaren Fluoreszenz-Lichtsignals frei.

Außerdem untersuchen die Forscher um Schurr, wie sich das innovative Dach ihrer Jülicher Kleingewächshäuser auf die Algenproduktion auswirkt. Es besteht aus hochtransparenten und für UV-Strahlung durchlässigen Gläsern, die besonders viel Licht in die Anlage dringen lassen, dessen spektrale Zusammensetzung nahezu der des natürlichen Sonnenlichts entspricht. Die Wissenschaftler prüfen auch, inwieweit sich die Schläuche, in denen die Algen wachsen, noch verbessern lassen.

„Unsere gesammelten Erkenntnisse sollen dann in der Algenproduktion in Niederaußem die Produktion steigern“, sagt Schurr. Die dortige Anlage soll nach und nach entsprechend aufgerüstet werden. Die Jülicher Wissenschaftler sind zuversichtlich, dass sich am Ende ihrer Forschungsarbeit zeigen wird: Algenzucht und die Verwertung der Biomasse, etwa für Treibstoffe oder Baumaterialien, lohnt sich – für die Umwelt, aber auch für die Wirtschaft.

Frank Frick



Photosyntheseaktivität in unterschiedlichen Algenproben: die Algen in einer frischen Suspension (Mitte) nehmen gegenüber einer verdünnten (unten) und einer abgesetzten Mischung (oben) das meiste CO_2 auf.



Kohlendioxid einfangen und vergraben

Kohlendioxid (CO₂) soll der Weg in die Atmosphäre verwehrt werden. Jülicher Forscher entwickeln Membranen, die das klimaschädliche Gas in Kohlekraftwerken aus dem Abgas abtrennen, damit es dann in unterirdischen Lagerstätten gespeichert werden kann.

Der Weltklimarat (IPPC) sagt bis zum Jahr 2100 eine Zunahme der Durchschnittstemperatur auf der Erde um ein bis sechs Grad Celsius voraus – abhängig vom jeweils angenommenen Szenario. Hauptursache für den Temperaturanstieg seit Mitte des 20. Jahrhunderts ist die zunehmende CO₂-Konzentration in der Atmosphäre. Sie ist von einem vorindustriellen Wert von 280 ppm (parts per million) auf 379 ppm im Jahr 2005 gestiegen. Deutschland und die Europäische Union setzen sich mas-

siv dafür ein, den prognostizierten Temperaturanstieg auf maximal zwei Grad Celsius zu begrenzen. Das wird nur durch die Kombination vieler verschiedener Maßnahmen zu erreichen sein. Neben der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energiequellen fördert die Bundesregierung deshalb unter anderem auch die Entwicklung von Kohlekraftwerken, die kaum noch Kohlendioxid in die Atmosphäre entweichen lassen. Das Gas soll stattdessen in unterirdischen Lagerstätten gespeichert werden. Ein Pilotprojekt dazu führt derzeit das Geoforschungszentrum Potsdam im brandenburgischen Ketzin durch, wo von 2008 bis 2010 insgesamt 60 000 Tonnen Kohlendioxid in eine mit Salzwasser gefüllte poröse Gesteinsschicht eingebracht werden.

„Dieses Kohlendioxid stammt allerdings aus der chemischen Industrie und wird mit Lastwagen nach Ketzin gebracht“, erläutert die Jülicher Verfahrenstechnikerin Dr. Petra Zapp. Warum das Gas noch nicht aus Kraftwerken angeliefert wird, liegt auf der Hand: Effiziente Verfahren zum Abtrennen des Kohlendioxids aus dem Abgas von Kohlekraftwerken gibt es bisher nicht. „Die derzeit am weitesten entwickelte Abtrenntechnik für konventionelle Kraftwerke ist eine chemische Wäsche“, sagt Dr. Wilhelm Meulenberg, der wie Zapp dem Institut für Energieforschung angehört. Bei dieser „Wäsche“ wird das Kohlendioxid chemisch an eine Lösung gebunden und vor dem Transport durch eine Temperaturerhöhung wieder freigesetzt. Aber das kostet

Das von Kohlekraftwerken ausgestoßene Kohlendioxid soll zukünftig nicht mehr in die Atmosphäre entweichen können.

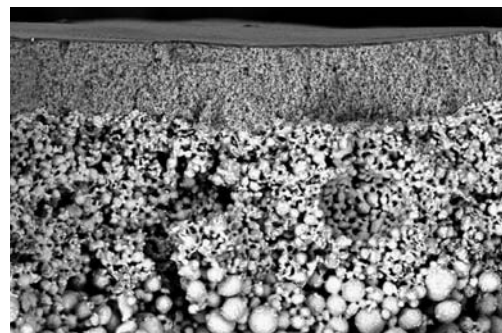
Energie. „Mehr als 10 Prozentpunkte der Effizienz eines Kraftwerks gehen dadurch verloren“, ergänzt Meulenbergh. „Wenn man bedenkt, dass ein durchschnittliches Kohlekraftwerk in Deutschland eine Effizienz von etwa 38 Prozent hat, dann ist das ein gewaltiger Verlust.“

Diesen Energieverlust zu verringern, ist das Ziel des Forschungsprojekts MEM-BRAIN, an dem neben dem Forschungszentrum Jülich weitere deutsche und europäische Forschungszentren und Universitäten sowie Partner aus der Industrie mitarbeiten. Das Projekt MEM-BRAIN wird von Prof. Detlev Stöver, dem Direktor des Instituts für Energieforschung, geleitet. Statt mit einem energie-fressenden chemischen Verfahren soll das Kohlendioxid mithilfe von Membranen aus dem Abgas „ausgesiebt“ werden. Darüber hinaus wird an dazu passenden, effizienten Kraftwerkskonzepten gearbeitet. Innerhalb des MEM-BRAIN-Forschungsverbunds hat das Forschungszentrum Jülich die Aufgabe übernommen, Membranen aus keramischen Materialien zu entwickeln. Doch mit der Materialentwicklung allein ist es nicht getan. „Die Membranen müssen auch zur Kraftwerksvariante passen und dort effizient arbeiten“, sagt Meulenbergh. „Der große Vorteil hier in Jülich ist, dass wir alles

Durch den Aufbau in mehreren Schichten können Membranen verschiedene Eigenschaften kombinieren: Stabile, grobporöse Keramiken geben mechanische Festigkeit; dichte, feinporöse Keramiken dienen als Filter für Gase.

unter einem Dach haben. Wir entwickeln die Werkstoffe und die Membranen, mein Kollege Dr. Torsten Markus testet sie unter Kraftwerksbedingungen.“ Zapp ergänzt: „Und wir behalten das Gesamtsystem im Auge und geben eine Bewertung ab. Wir untersuchen zum Beispiel die gesamte Ökobilanz eines zukünftigen, mit Membranen ausgerüsteten Kohlekraftwerks einschließlich aller Umweltbelastungen, die beim Bau und Betrieb des Kraftwerkes entstehen.“ Die Kosten spielen natürlich auch eine Rolle. Meulenbergh: „Wenn wir einen neuen Werkstoff für Membranen gefunden haben, kann es sein, dass uns die Kollegin sagt: ‘Euer Material ist ja super, aber wie wollt ihr das bezahlen?’“

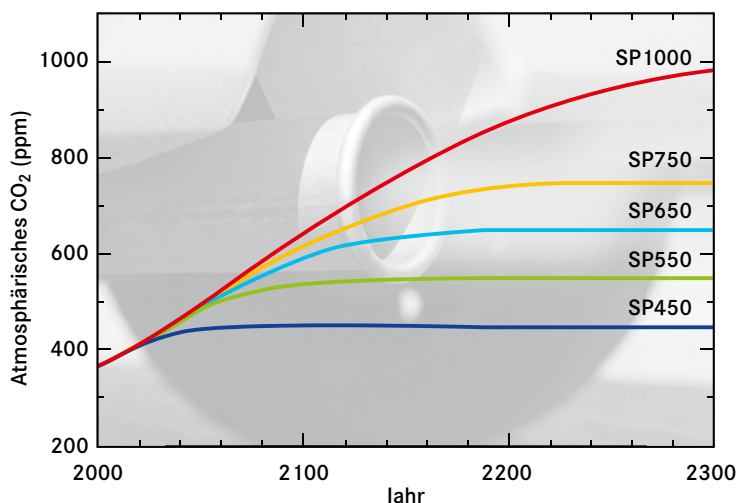
Während Zapp die eher undankbare Aufgabe hat, den Kollegen frühzeitig den Wind aus den Segeln zu nehmen, bevor sie viel Entwicklungsarbeit in ökologisch und ökonomisch nicht sinnvolle Membranen stecken, tragen andere Forscher



konkrete Wünsche an Meulenbergh heran. Sein Kollege Dr. Ernst Riensche untersucht zum Beispiel, bei welchen Drücken und Temperaturen eine Membran arbeiten soll und wie man sie am geschicktesten in ein Kraftwerk integriert. Meulenbergh sucht dann nach einem Membranwerkstoff, der die von Riensche gewünschten Umgebungsbedingungen aushält. Weitere flankierende Maßnahmen kommen beispielsweise von Forschern der RWTH Aachen, die mit Computermodellen und Messungen die Funktionsweise der Membranen auf atomarer Ebene nachbilden. Außerdem werden die Aachener Forscher die Membranen in einer großen Demonstrationsanlage testen.

www.co2separation.de

Axel Tillemans



Der Temperaturanstieg auf der Erde hängt unter anderem von der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre ab. Die Kurven zeigen verschiedene politische Szenarien: Bei der blauen Kurve wurde angenommen, dass um das Jahr 2020 das Maximum des jährlichen Kohlendioxidausstoßes erreicht wird. Obwohl der Ausstoß danach drastisch sinken soll, bleibt die Konzentration in der Atmosphäre für die nächsten Jahrhunderte konstant bei 450 parts per million (ppm). Bei den anderen Szenarien wird der maximale Ausstoß später erreicht. Die für viele Jahrhunderte konstante Kohlendioxidkonzentration ist deshalb höher. Die rote Kurve (1000 ppm) entspricht einem Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur um 5,5 Grad Celsius; bei der blauen Kurve steigt die Durchschnittstemperatur um 2,1 Grad Celsius.



Den Himmel über China verstehen

Nicht nur Athleten bereiteten sich jahrelang auf die Olympischen Spiele in Beijing vor. Wissenschaftler aus Jülich waren schon zwei Jahre vor dem Sportereignis vor Ort. Im August 2008 reisten sie zu den Spielen erneut nach China. Ihr Ziel: saubere Luft für die Olympioniken, aber auch die Erforschung der Atmosphärenchemie in chinesischen Ballungsräumen.

A bendessen: „Hot Pot mit stark gewürztem Fisch, aber nicht auf glühender Kohle (Kohlenmonoxid-Emissionen!), sondern auf einem Elektro-Ofen gebraten“, notierte Prof. Andreas Wahner am 10. August 2008 in seinem Tagebuch. Denn schließlich war der Direktor des Instituts für Chemie und Dynamik der Geosphäre (ICG) des Forschungszentrums Jülich mit seinem Team nach Beijing gekommen, um dort Untersuchungen zur Verbesserung der Luftqualität fortzuführen.

Begonnen hatte die deutsch-chinesische Zusammenarbeit für bessere Luft bereits 2006. Jülicher Wissenschaftler des ICG waren damals von Juli bis September in China und hatten in zwei großen Messkampagnen die Luftqualität untersucht. Gemeinsam mit Kollegen vom Leibniz-Institut für Troposphärenforschung in Leipzig und Wissenschaftlerteams aus China, Taiwan, Japan und Korea untersuchten sie die Schadstoffe in der Dunstglocke über zwei chinesischen Megacities: den Ballungsräumen um Beijing und um Guangzhou im Pearl River Delta, in denen jeweils viele Millionen Menschen leben und arbeiten. Zugleich erforschten sie die Selbstreinigungskraft der Atmosphäre über diesen Riesenstädten.

Wirtschaft und Luftverschmutzung wachsen

Chinas boomende Wirtschaft, die zunehmende Industrialisierung und der immer dichtere Verkehr haben unerwünschte Nebeneffekte. Die Belastung der Luft mit Schadstoffen wie Ozon, Feinstaub, Kohlenwasserstoffen, Stickoxiden und Kohlenmonoxid ist dramatisch gestiegen. So war 2002 die unterste Schicht der Atmosphäre, die Troposphäre, über China schon um 50 Prozent mehr mit Stickstoffdioxid belastet als 1996. Mit ihren Analysen wollen die Forscher in der Kampagne „Care Beijing“ ermitteln, welche Substanzen die Atmosphäre belasten, auf welche Weise sie wieder abgebaut werden und welche chemischen und physikalischen Prozesse Transport und Abbau der



Um Belastungen für die Sportler in Beijing zu verringern, erarbeiteten Jülicher Forscher Empfehlungen.



Schadstoffe steuern. Die Ergebnisse könnten auch für andere Megacities interessant sein.

Aus ihren Messungen vor den Spielen leiteten die Jülicher Wissenschaftler konkrete Empfehlungen für die chinesischen Partner ab. Vorrangiges Ziel war es, die Feinstaub- und Kohlenmonoxidbelastung während der Wettkämpfe zu verringern. Die Empfehlungen der Atmosphärenforscher: Lecks an Tankstellen und Raffinerien beheben und schwefelfreie Dieselmotoren verwenden. Dagegen hielten die Wissenschaftler es für weniger sinnvoll, durch Fahrverbote für Autos die Konzentration von Stickoxiden während der Spiele zu verringern. Wirksamer seien frühzeitige Einschränkungen bei Industriebetrieben. „Die Zusammenarbeit mit der

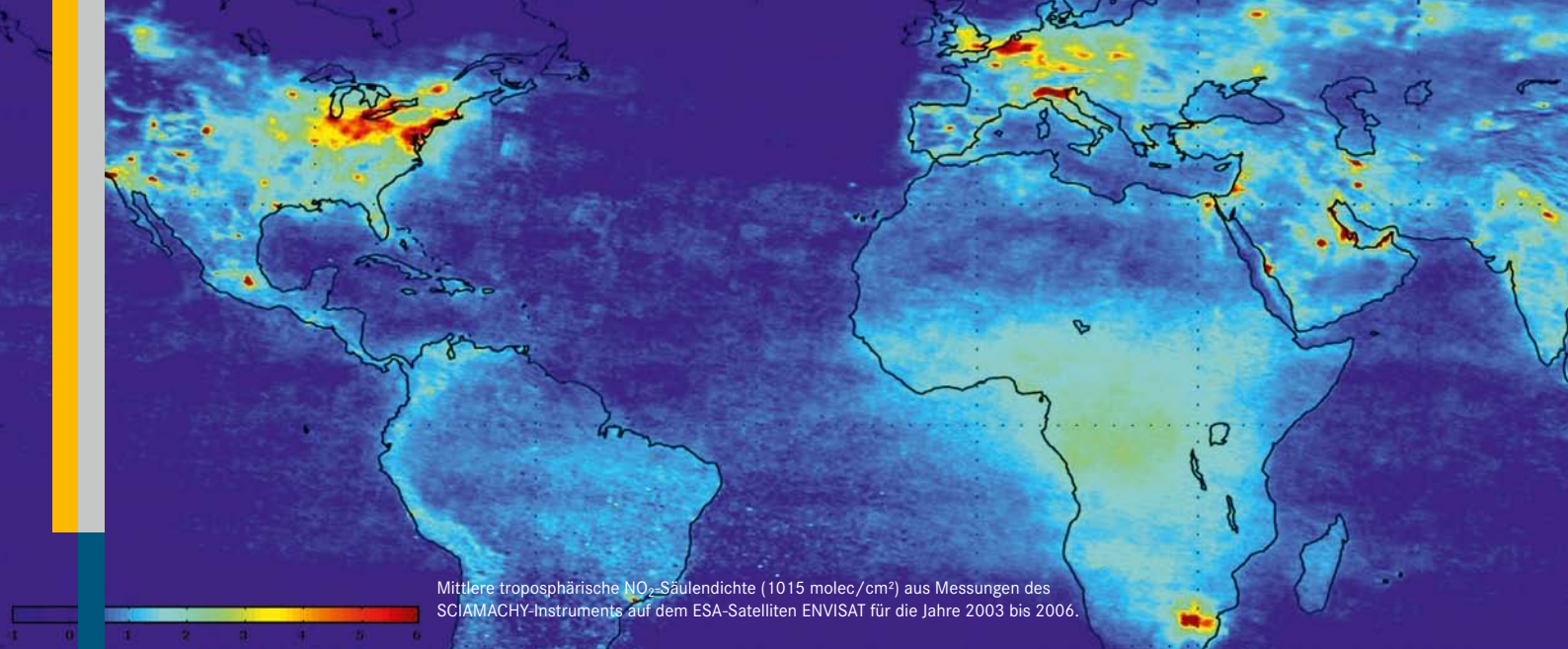
chinesischen Seite war sehr gut“, betont Wahner. „Die Regierung in Beijing hat sich mit ihren Plänen deutlich an unseren Messungen und Berechnungen orientiert.“

Ratschläge für die Sportler

Auch für die deutschen Olympia-Vorbereitungen fand die Jülicher Expertise Verwendung: Der Deutsche Olympische Sportbund und das Bundesinstitut für Sportwissenschaft verwiesen in ihrem „Medizinischen Ratgeber Peking“ auf die Untersuchungen des ICG. Ihre Empfehlungen an die Sportler, in China vor allem in den Morgen- und Abendstunden zu trainieren, stützten sich u. a. auf Messungen von Temperatur und Ozonkonzentrationen, die die Jülicher Wissenschaftler 2006 vorgenommen hatten.

Während der Olympischen Spiele lieferten die Jülicher Forscher den Sportlern tägliche Prognosen zur Luftschadstoffbelastung. Dafür maßen sie beispielsweise auf dem Dach der Peking University das Sonnenstreulicht. „Daraus ermitteln wir die Höhenprofile für die Verteilung von Aerosolen, Stickoxiden, Ozon oder auch Formaldehyd“, erläutert Wahner. Die Messkampagne wurde über die Sportveranstaltungen hinaus fortgesetzt, um die Wirksamkeit der Maßnahmen zu ermitteln, die die Wissenschaftler den chinesischen Behörden empfohlen hatten.

Zum Vergleich erfassten die Forscher die Schadstoffkonzentrationen während und nach diesen Maßnahmen. Auch ein Standort rund 80 Kilometer südwestlich von Beijing wurde einbezogen. Tatsächlich



zeigte sich, dass während der Olympischen Spiele die Schadstoffe um 30 bis 50 Prozent zurückgingen. „Die Luftreinigungs-Maßnahmen wurden glücklicherweise von einem Wetterumschwung unterstützt“, erklärt Dr. Franz Rohrer, Leiter der Arbeitsgruppe Stickoxid-Chemie am ICG, der mit der Auswertung der Jülicher Messergebnisse befasst ist. „Luftmassen verschoben sich, und heftiger Regen spülte viele Feinstaubpartikel aus der Atmosphäre. Die Umweltschutzmaßnahmen sorgten dafür, dass die anschließende Neuverschmutzung der Luft wesentlich geringer ausfiel, sodass für die Athleten und die Bevölkerung eine bessere Luftqualität erreicht wurde.“ Der überlagerte Wettereinfluss macht es allerdings schwierig, im Detail zu beurteilen, wie sich der verringerte Schadstoffausstoß auf die Atmosphärenchemie auswirkte.

Rätselhafte Radikale

Um genauer zu verstehen, was in der Luft über den chinesischen Ballungsräumen vor sich geht, wollen die Jülicher Wissenschaftler nun die atmosphärischen Verhältnisse nachstellen, und zwar so, dass ihnen das Wetter keinen Strich durch die Messergebnisse machen kann. „In der Jülicher Atmosphärenkammer SAPHIR haben wir alle Bedingungen unter Kontrolle“, erklärt Rohrer. „Wir können darin die Konzentrationen verschiedener Luftbestandteile und Schadstoffe so einstellen, wie sie in China gemessen

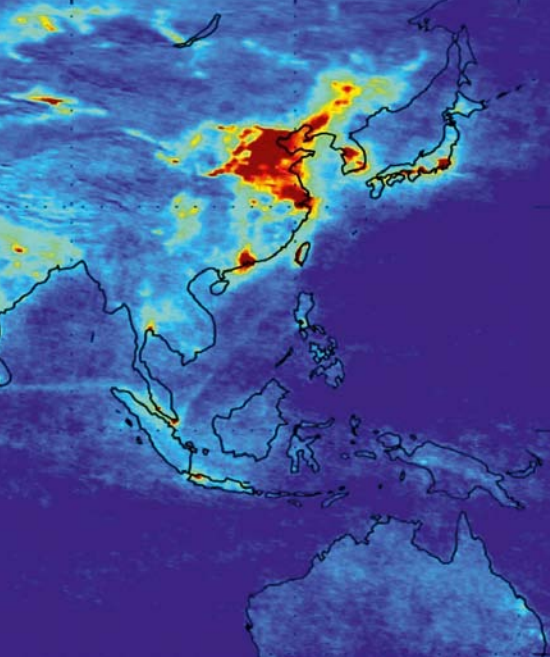
wurden, und genau verfolgen, welche Reaktionen dann in der Atmosphäre bei Sonnenlicht ablaufen.“

Insbesondere wollen die Forscher unerwartete Messergebnisse zu den sogenannten Hydroxyl-Radikalen aufklären. Diese spielen eine Schlüsselrolle bei der Selbstreinigung der Atmosphäre und werden deshalb auch als „Waschmittel der Atmosphäre“ bezeichnet. Die hochreaktive Verbindung aus einem Wasserstoff- und einem Sauerstoffatom entsteht im Sonnenlicht und zersetzt Kohlenwasserstoffe, Kohlenmonoxid, Stickoxide und andere Luftschadstoffe. Jülich ist weltweit Vorreiter in der genauen Bestimmung von OH-Radikalen. „Unsere Messungen in Beijing und im Pearl River Delta fanden auch bei hohen Schadstoffkonzentrationen etwa zwei bis drei Mal so viele Hydroxyl-Radikale, wie wir erwartet hatten“, berichtet Dr. Andreas Hofzumahaus, der die Messungen in China leitete. Die Wissenschaftler hatten angenommen, dass durch die hohe Luftverschmutzung die Radikale rasch verbraucht werden. Offenbar wird dieses „Waschmittel“ aber nach der Reaktion mit Schadstoffmolekülen weitaus schneller recycelt, als nach bisherigen Kenntnissen zu erwarten war. Warum das so ist, wissen die Forscher noch nicht. „Damit haben wir eine Wissenslücke bei diesen fotochemischen Prozessen genau identifiziert. Nun können wir gezielt darangehen, dieses Rätsel zu lösen“, sagt Hofzumahaus.

Unklar ist außerdem, warum beim Abbau der Schadstoffe über den chinesischen Riesenstädten viel weniger Ozon gebildet wird, als nach den bisherigen Modellvorstellungen zu erwarten gewesen wäre. Normalerweise entstehen pro abgebautem Schadstoffmolekül ein bis zwei Ozonmoleküle – ein bedeutendes Treibhausgas. „Unsere Messungen haben neue atmosphärische Abbaupfade für Spurenstoffe aufgezeigt“, sagt Andreas Wahner. Bei diesen wird, im Gegensatz zum bisherigen Verständnis, kein Ozon gebildet. „Der derzeitige Verdacht ist, dass diese Abbaupfade auch in vielen anderen Regionen der Erde wirksam sind und vielleicht unser Bild der Selbstreinigungskraft der Atmosphäre verändern werden.“ Diese neuartigen Erkenntnisse wurden nun auch aktuell in der Fachzeitschrift „Science“ veröffentlicht. Antworten auf die offenen Fragen erhoffen sich die Jülicher Wissenschaftler von Experimenten in der Atmosphärenkammer SAPHIR.

Chinesische Atmosphäre in Jülich

In diesem 20 Meter langen „Laborgefäß“ mit fünf Metern Durchmesser befinden sich, umhüllt von doppelwandiger Teflonfolie, rund 300 Kubikmeter Luft, die die Wissenschaftler ganz nach Belieben zusammenmischen können – zum Beispiel den Mix „Smog in Beijing am späten Nachmittag“ oder „der Himmel über Guangzhou am frühen Morgen“. Dann können sie genau verfolgen, was geschieht, wenn sich beispielsweise die



Aufnahmen des ESA-Satelliten ENVISAT zeigen am Beispiel des troposphärischen Stickstoffdioxids (NO_2) die weltweit sehr unterschiedliche Luftverschmutzung (blau = geringe, rot = hohe NO_2 Konzentration). Besonders hoch ist die Belastung um Beijing und das Pearl River Delta Gebiet.

Menge der Stickoxide oder der Kohlenwasserstoffe verändert. Auf diese Weise wollen die Forscher auch herausfinden, ob es Unterschiede zwischen europäischer und chinesischer Luft gibt. „Die typischen Schadstoffe, die durch den Menschen erzeugt werden, etwa die Kohlenwasserstoffe aus Industriebetrieben oder die Stickoxide aus Autoabgasen, sind hier wie da dieselben“, erläutert Rohrer. Ein Großteil der Substanzen in der Luft stammt allerdings aus anderer Quelle: Auch Pflanzen geben

eine Vielzahl von Stoffen in die Luft ab. „Möglicherweise ist ein Unterschied in diesen biogenen Emissionen für die Abweichungen der Messergebnisse aus China von den bisher bekannten Abläufen in der atmosphärischen Chemie verantwortlich“, mutmaßt Rohrer. Sicher wissen werden die Forscher es erst, wenn es in SAPHIR-Experimenten gelingt, diese Beobachtungen nachzustellen.

„Aber auch weitere Messungen in Südchina werden notwendig sein, um das Problem in seiner ganzen Komplexität

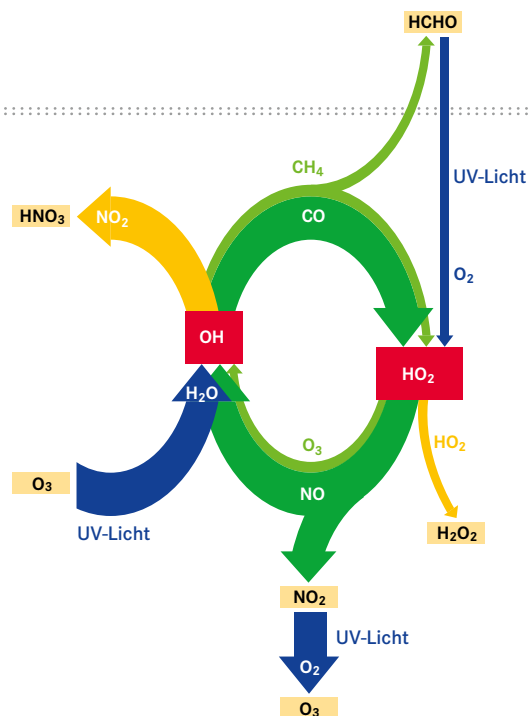
verstehen zu können“, betont Wahner. Sein Olympia-Tagebuch schließt mit den Worten: „Gute Aussichten also für wissenschaftlich interessante und auch anwendungsnahe Forschung auf dem Gebiet der Wechselwirkung von Chemie und Klima“.

www.fz-juelich.de/portal/forschung/highlights/peking

Wiebke Rögener

Kreislauf der Radikale

Bei Sonnenschein entstehen Hydroxyl-Radikale (OH -Radikale) aus Ozonmolekülen. Andere, sogenannte HO_2 -Radikale, entstehen durch Spaltung von Formaldehyd. Diese „Waschmittel der Atmosphäre“ sind zwar kurzlebig und nur in winzigen Mengen in der Atmosphäre vorhanden. Dennoch bestimmen sie wesentlich mit, wie lange wichtige Spurengase (Kohlenwasserstoffe, Kohlenmonoxid, Stickoxide) in den unteren Luftschichten verbleiben. Je eher Spurengasmoleküle durch Reaktion mit Radikalen zersetzt werden, desto weniger können sie sich ausbreiten. Beim Abbau der Spurengase entstehen jedoch sekundäre Schadstoffe, beispielsweise Ozon. Allerdings scheint es auch Abbauwege zu geben, bei denen kaum Ozonmoleküle gebildet werden, ergaben die Messungen in China. Die Grafik zeigt die wesentlichen bisher bekannten chemischen Prozesse des Spurengasabbaus durch OH -Radikale und HO_2 -Radikale, die im Kreislauf sekundenschnell ineinander umgewandelt werden. Dabei wird jeweils ein Kohlenmonoxid- oder Kohlenwasserstoff-Molekül oxidiert. Je nach Stickoxidbelastung wird dabei ein Ozonmolekül erzeugt oder zerstört. Nach etwa zehn Durchläufen in diesem Kreislauf gehen die Radikale dann unter Bildung von Salpetersäure (HNO_3) und Wasserstoffperoxid (H_2O_2) verloren und scheiden aus dem „Waschmittelkreislauf“ aus.





Automatisierung statt Handarbeit

Das Prinzip der Brennstoffzelle, die man sich vereinfacht als eine auftankbare Batterie vorstellen kann, ist seit 1839 bekannt. Die große Herausforderung liegt darin, sie kostengünstig herzustellen und effizient zu betreiben. Voraussetzung dafür ist eine optimale Abstimmung ihrer Einzelkomponenten. Jülicher Wissenschaftler erforschen dies in einem Forschungs- und Fertigungstechnikum.

Die Bestandteile von Brennstoffzellen werden im Jülicher Forschungs- und Fertigungstechnikum wie in einer industriellen Anlage automatisiert hergestellt. „Wir streben an, die Techniken, die wir im Labor entwickeln, in einen Fertigungsprozess zu übertragen, der schon sehr nahe an der Serienreife ist“, sagt Dipl.-Ing. Jürgen Mergel, der die Abteilung „Direktmethanol-Brennstoffzellen“ (DMFC) leitet. Anders als in der späteren industriellen Anlage sind im Forschungstechnikum jedoch nicht alle Produktionsschritte nahtlos aneinander gereiht, sodass die Zwischenprodukte in jeder Fertigungsstufe problemlos begutachtet werden können.

Auftanken, bitte!

Während die meisten Brennstoffzellentypen mit Wasserstoff arbeiten, der in einer Reaktion mit Sauerstoff Energie

freisetzt, verwendet eine DMFC mit Wasser vermischtes Methanol als „Treibstoff“ (siehe Abb. S. 31, re.). Anders als in einem Verbrennungsmotor, verbrennt das Methanol in einer Brennstoffzelle aber nicht. Stattdessen wird Energie direkt mittels elektrochemischer Reaktionen gewonnen. Von außen betrachtet verhält sich eine Brennstoffzelle deshalb genau wie eine Batterie. Jedoch kann die Brennstoffzelle neu aufgetankt werden, wenn das Methanol verbraucht ist.

In der Raumfahrt, in der die Kosten nicht an erster Stelle stehen, sind Brennstoffzellen als Stromlieferanten bereits seit einigen Jahrzehnten die erste Wahl. Sie sind leichter als Batterien und zuverlässiger als von einem Verbrennungsmotor angetriebene Generatoren. Doch um sich auf dem freien Markt behaupten zu können, müssen Brennstoffzellen anderen Kriterien standhalten.



Um eine höhere elektrische Spannung zu erhalten, werden mehrere Brennstoffzellen zu einem Stack (rechtes Bild) zusammengesetzt. Diese Arbeit erledigt ein Roboterarm (oberes Bild).

Zum Beispiel arbeitet Mergels Team an der verzwickten Aufgabe, die DMFCs mit reinem Methanol ohne Wasserzusatz zu betreiben, um das Gewicht des Treibstoffs zu reduzieren. Das ist möglich, weil die Brennstoffzellen nicht nur Wasser benötigen, sondern es auch erzeugen. Dazu muss das am Zellausgang anfallende Wasser wieder der Brennstoffzelle zugeführt werden. „Eine zusätzliche Schwierigkeit dabei ist: Wir müssen auch Luft durch die Zellen leiten, weil die elektrochemischen Reaktionen Sauerstoff benötigen“, ergänzt Mergel. „Doch die Luft nimmt einen Teil des Wassers als Dampf auf und transportiert ihn aus der Zelle hinaus. Auch dieses Wasser muss zurückgewonnen werden.“

„Eine weitere Herausforderung für uns ist beispielsweise, aus dem teuren Material, das wir in den Katalysatoren verwenden, die maximale Leistung herauszuholen“, sagt Mergel. Als Material setzen die Forscher Platin und Ruthenium ein. Der Katalysator hat die Aufgabe, die elektrochemische Umsetzung des Methanols

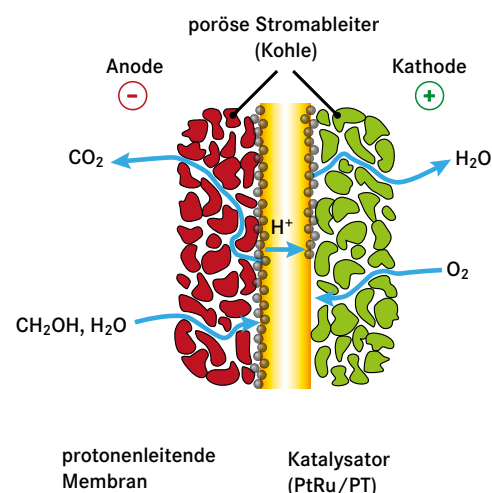
korrodiert, das heißt, es wird aufgelöst und scheidet sich dann an anderer Stelle, zum Beispiel an der Kathode – dem Pluspol der Brennstoffzelle – wieder ab“, erklärt Mergel. Derartige Alterungsprozesse beschränken die Lebensdauer der Brennstoffzellen derzeit auf einige 100 Stunden. „Unser Ziel ist es, im nächsten Entwicklungsschritt eine Lebensdauer von 3 000 Stunden zu erreichen“, ergänzt Mergel. Doch vorher müssen noch weitere Schwächen der DMFCs überwunden werden.

Roboter machen die besseren Fehler

Eine wichtige Hilfe dabei ist die automatisierte Herstellung der DMFC-Komponenten im Technikum. Dadurch werden die Eigenschaften aller Komponenten der Brennstoffzellen exakt reproduzierbar. Verbessert oder verschlechtert sich die Leistung der Brennstoffzelle nach einer kleinen Änderung im Herstellungsprozess, dann können die Forscher sicher schlussfolgern, woran das liegt. Bei Handarbeit kommen dagegen zufällige Abweichungen hinzu, die den Schluss auf die veränderte Leistungsfähigkeit der Brennstoffzelle verfälschen.

„Besonders wichtig ist diese Reproduzierbarkeit bei der Herstellung der Pasten“, betont Dr. Andreas Glösen, der für das Herzstück der Brennstoffzellen, die sogenannte Membran-Elektroden-Einheit, verantwortlich ist. Denn die Katalysatorschicht und auch die anderen Schichten der DMFCs werden zunächst als Paste angerührt und dann auf ein Untergrundmaterial übertragen. Hierbei kann vieles schiefgehen. So passiert es zum Beispiel, dass die Katalysatorteilchen verklumpen oder sich beim Trocknen der Schicht größere Risse bilden. Beides setzt die Leistungsfähigkeit der Katalysatorschicht herab und lässt sich nur durch fortwährende kontrollierte Änderungen an der „Rezeptur“ der Paste verbessern.

Wenn die einzelnen Schichten fertiggestellt sind, werden sie zu einer Brennstoff-



zelle zusammengefügt. Um eine höhere elektrische Spannung zu erhalten, werden mehrere Zellen zu einem sogenannten „Stack“ zusammengesetzt. Im Technikum erledigt das heute ein Roboterarm. Mergel erinnert sich an eine besonders drastische Anekdote aus der Zeit, als die Forscher die Stacks noch von Hand zusammenbastelten: „Wir mussten den aus 1 900 Einzelteilen bestehenden Stack mehrmals wieder auseinander bauen, oft nur deshalb, weil einer von etwa 800 Dichtungsringen fehlte.“

Natürlich erledigt auch der Roboterarm die Arbeit nicht von Anfang an perfekt. Aber wenn er einen Fehler macht, zum Beispiel die Einzelteile beim Zusammenbau gegeneinander verkantet, dann macht er ihn nicht nur einmal, sondern immer wieder. Ein wiederholter Fehler wird aber schnell erkannt und ist damit schon so gut wie korrigiert.

Axel Tillemans

Wasserstoff – Freund oder Feind?

Wasserstoff gilt als Hoffnungsträger im Kampf gegen den Klimawandel. Aus erneuerbaren Energiequellen hergestellt, soll er den Verbrauch fossiler Brennstoffe zurückdrängen. Doch treiben wir damit möglicherweise den Teufel mit dem Beelzebub aus? Denn eventuell in die Atmosphäre entweichender Wasserstoff kann die Ozonschicht schädigen. Forscher des Instituts für Chemie und Dynamik der Geosphäre geben jetzt Entwarnung.

Wasserstoff gilt als saubere Energiequelle. Doch wenn er beispielsweise beim Tanken direkt in die Atmosphäre entweicht, könnte er dort Schaden anrichten.

Doch just im selben Jahr veröffentlichte ein US-Forscherteam um Tracey Tromp vom California Institute of Technology eine Studie, die aufhorchen ließ. Der Jülicher Umweltwissenschaftler Dr. Thomas Feck erklärt, warum: „Die Kollegen waren zu dem Ergebnis gekommen, dass die Ozonschicht in der Arktis im Frühjahr um bis zu acht Prozent mehr abnehmen würde als sie das ohnehin schon tut, wenn wir die heute genutzten fossilen Energiequellen vollständig durch Wasserstoffenergie ersetzen. Denn Wasserstoff kann unter anderem beim Transport durch Pipelines entweichen, bis in die Stratosphäre gelangen und dort zum Ozonabbau beitragen.“ Die Stratosphäre ist die Schicht der Atmosphäre, die zwischen 10 und 50 Kilometern Höhe liegt.

Dort wird der Wasserstoff in Wasserdampf umgewandelt. „Dieser Wasserdampf fördert die Entstehung der sogenannten polaren Stratosphärenwolken“, erklärt Fecks Kollege Dr. Jens-Uwe Grob.

Kallgas, ein Gemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff, explodiert, wenn man es anzündet. Dabei entsteht reines Wasser. In Brennstoffzellen hat man diese Reaktion gezähmt, sodass die nun langsam frei werdende Energie elektrischen Strom erzeugt, der für Autos, Handys oder Notebooks zur Verfügung steht. In der Entwicklung befinden sich auch Wasserstofffahrzeuge, in deren Motoren der Wasserstoff ähnlich wie das

Benzin in Ottomotoren direkt verbrannt wird. Um den Verbrauch von Kohle und Öl zu verringern, haben die Europäische Union und die USA 2003 die Förderung einer „grünen“ Wasserstoffwirtschaft vereinbart. Demnach sollen die klimaschädlichen fossilen Energiequellen im Laufe dieses Jahrhunderts durch Wasserstoff ersetzt werden, der mittels Wind- oder Sonnenenergie aus Wasser gewonnen wird.





*Wasserstoff fördert die Entstehung von polaren Stratosphärenwolken.
Gemeinsam mit Fluorchlorkohlenwasserstoffen schädigen diese Wolken die Ozonschicht.*

Sie bilden sich unterhalb einer Temperatur von etwa minus 80 Grad Celsius. „Gemeinsam mit Chlor, das aus Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) stammt, zerstören sie das Ozon“, ergänzt Grooß. Der von der Tromp-Studie vorhergesagte zusätzliche Ozonabbau würde den bereits jetzt in jedem Frühjahr vorhandenen Ozonschwund, der in manchen Jahren bis nach Norddeutschland reicht, weiter verschlimmern. Die dadurch intensivere UV-Strahlung könnte eine Zunahme von Haut- und Augenkrankheiten zur Folge haben.

Die US-Forscher waren bei ihrer Studie davon ausgegangen, dass 20 Prozent des Wasserstoffs in die Atmosphäre entweichen. Eine nachvollziehbare Begründung für diese Annahme blieben sie jedoch schuldig. Feck und Grooß gaben sich damit nicht zufrieden. „Wir wollten wissen, ob diese Größenordnung realistisch ist“, sagt Feck. „Und vor allem: Auch wenn es richtig ist, bei solch einer Abschätzung vom ungünstigsten Fall auszugehen, so muss man doch den zukünftigen technischen Fortschritt berücksichtigen. Die Verlustquote in 50 Jahren wird nicht die gleiche sein wie die von heute.“

Verluste überschätzt

In seiner Doktorarbeit verglich Feck Szenarien zur zukünftigen Entwicklung der Wasserstofftechnologie und führte Gespräche mit Firmen und Institutionen, die heute schon Erfahrungen mit Wasserstoff sammeln. „Meine Recherche zeigt, dass die Tromp-Studie bereits die heutigen prozentualen Wasserstoffemissionen stark überschätzt“, erläutert Feck. „Die Verluste betragen heute etwa zehn Prozent. Es ist zu erwarten, dass die Verlustrate mittelfristig unter zwei Prozent liegt.“ Doch beim vollständigen Ersatz fossiler Brennstoffe durch Wasserstoff wären das immer noch bis zu 60 Millionen Tonnen Wasserstoff, die pro Jahr in die Atmosphäre entweichen würden. Was stellt dieser zusätzliche Wasserstoff mit der Ozonschicht an?

Dafür muss erst einmal geklärt werden, wie viel Wasserstoff bis hinauf in die Ozonschicht gelangt. „Wie sich die Wasserstoffmenge in der untersten Atmosphärenschicht, der Troposphäre, ändern würde, konnten wir bereits existierenden Studien entnehmen, wie zum Beispiel der unseres Jülicher Kollegen Dr. Martin Schultz“, erklärt Feck. Mit den Ergebnis-

sen dieser Studien „fütterte“ Feck das weltweit anerkannte Jülicher Simulationsprogramm CLaMS, an dessen Entwicklung Grooß maßgeblich beteiligt war. Mit CLaMS lassen sich das Vordringen des Wasserstoffs in die Stratosphäre und seine chemischen und physikalischen Auswirkungen zeitlich und räumlich simulieren.

Gefüttert mit den von Feck ermittelten Daten, errechnete CLaMS eine zusätzliche Schädigung der Ozonschicht von 2,5 Prozent, also von weniger als einem Drittel des in der Tromp-Studie ermittelten Wertes. Dabei ist noch nicht berücksichtigt, dass der FCKW-Anteil in der Stratosphäre in den kommenden Jahrzehnten höchstwahrscheinlich drastisch sinken wird, da viele Staaten die FCKW-Produktion bereits verringert oder ganz eingestellt haben. „Mit dem erwarteten FCKW-Rückgang wird der Wasserstoff einen zusätzlichen Ozonabbau von weniger als einem Prozent verursachen“, schätzt Feck. Insgesamt würde sich der durch das Verschwinden der FCKW bewirkte Wiederaufbau der Ozonschicht durchsetzen.

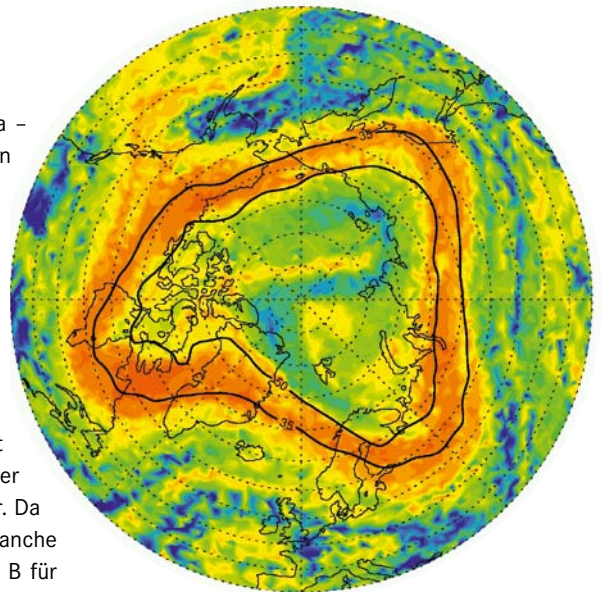
Axel Tillemans

Gefährliche Notbremse gegen globale Erwärmung

Um dem Treibhauseffekt entgegenzusteuern, könnte man Millionen Tonnen von Sulfatteilchen in die oberen Luftschichten der Atmosphäre einbringen. Der Jülicher Forscher Rolf Müller hat gemeinsam mit US-amerikanischen Kollegen herausgefunden, dass diese Notmaßnahme bedrohliche Nebenwirkungen hätte.

Er ruhte 611 Jahre. Als der Vulkan Pinatubo auf den Philippinen dann 1991 ausbrach, waren die Folgen verheerend: Obwohl Wissenschaftler den Ausbruch vorhergesehen hatten und daher rund 60 000 Menschen rechtzeitig evakuiert werden konnten, starben mindestens 875. Mehr als 80 000 Häuser wurden beschädigt oder zerstört. Der Vulkan schleuderte Asche bis zu 34 Kilometer in die Höhe. Dabei gelangten mehr als zehn Millionen Tonnen Schwefel in die Stratosphäre. Zur Erdoberfläche drang weniger Sonnenlicht als üblich durch: Weltweit sank die durchschnittliche Temperatur um fast ein halbes Grad.

Eine Abkühlung für das Weltklima – das allerdings klingt in manchen Ohren gar nicht nach Katastrophe, im Gegenteil. Schließlich sagen die Szenarien des Weltklimarates (IPCC) eine globale Erwärmung um bis zu 6,4 Grad für dieses Jahrhundert voraus. Hauptursache ist, dass die Menschheit bei der Energiegewinnung Treibhausgase wie CO₂ freisetzt. Inzwischen gilt der Klimawandel selbst bei einer CO₂-Vollbremsung als unumkehrbar. Da erstaunt es wenig, wenn sich manche Vordenker bereits mit einem „Plan B für die Menschheit“ beschäftigen. Und dazu gehört auch die Idee, siehe Pinatubo, Millionen Tonnen von Sulfatteilchen aus Schwefel und Sauerstoff bestehend in der oberen Atmosphäre auszubringen. Bekannt gemacht hat sie 2006 Nobelpreisträger Paul Crutzen. „Natürlich möchte ich, dass dieses Experiment nie ausgeführt werden muss. Es sollte höchstens als Notlösung angesehen werden“,



Starker Ozonabbau im Polarwirbel über der Arktis in rund 18 km Höhe. Die hohen natürlichen Ozonwerte im März 1997 am Rand des Polarwirbels sind rot dargestellt, der starke chemische Ozonabbau im Inneren grün und blau. Durch den künstlichen Eintrag von Sulfaten in die Atmosphäre könnten noch größere Ozonverluste auftreten.



Vulkanausbrüche wie der des Mt. Ätna im Oktober 2002 setzen Millionen Tonnen von Sulfaten in die Atmosphäre frei.

so Crutzen heute. Mit dem Vorschlag dieser „grotesken Maßnahme“ habe er Politiker wachrütteln wollen.

Vom Ausbruch des Pinatubo lernen

Der Pinatubo-Ausbruch liefert jedoch nicht nur ein Konzept, mit dem man die globale Erwärmung verlangsamen könnte. Er enthält auch eine Lehre über die Nebenwirkungen dieses weitreichenden Eingriffs in das System Erde. Herausgefunden haben das Dr. Rolf Müller vom Jülicher Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre und seine Kollegin Dr. Simone Tilmes, die inzwischen am National Center for Atmospheric Research, Boulder, USA, tätig ist. Sie nutzten dabei Daten, die insbesondere Satelliten in den Jahren nach dem Ausbruch gesammelt hatten. Im Visier hatten die Wissenschaftler dabei das Ozon in zehn bis 25 Kilometer Höhe, das die Erde vor der gefährlichen ultravioletten Sonneneinstrahlung schützt.

Bekanntermaßen sind am Abbau der Ozonschicht vor allem Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) schuld, die früher als Kühlmittel und Treibgase verwendet wurden. FCKW sind die Quelle für zunächst träge Chlorverbindungen, die in der Stratosphäre unter bestimmten Bedingungen – etwa bei sehr niedrigen Tempe-

raturen – aktiviert werden und dann Ozon zerstören. Sulfathaltige Tröpfchen in der Stratosphäre begünstigen die Aktivierung des Chlors. In welchem Ausmaß sie damit die Ozonzerstörung fördern, haben Simone Tilmes und Rolf Müller aus den Satellitendaten gleichsam herausgefiltert. Sie verglichen dabei die vier Jahre, in denen die Sulfate des Pinatubo-Ausbruchs noch in der Atmosphäre nachweisbar waren, mit der Zeit danach von 1996 bis 2005. „Daraus haben wir mathematische Beziehungen abgeleitet, mit denen wir anschließend abschätzten, wie sich ein künstlicher Sulfateintrag auf die Ozonschicht auswirkt“, erläutert Müller.

Hälfte des arktischen Ozons gefährdet

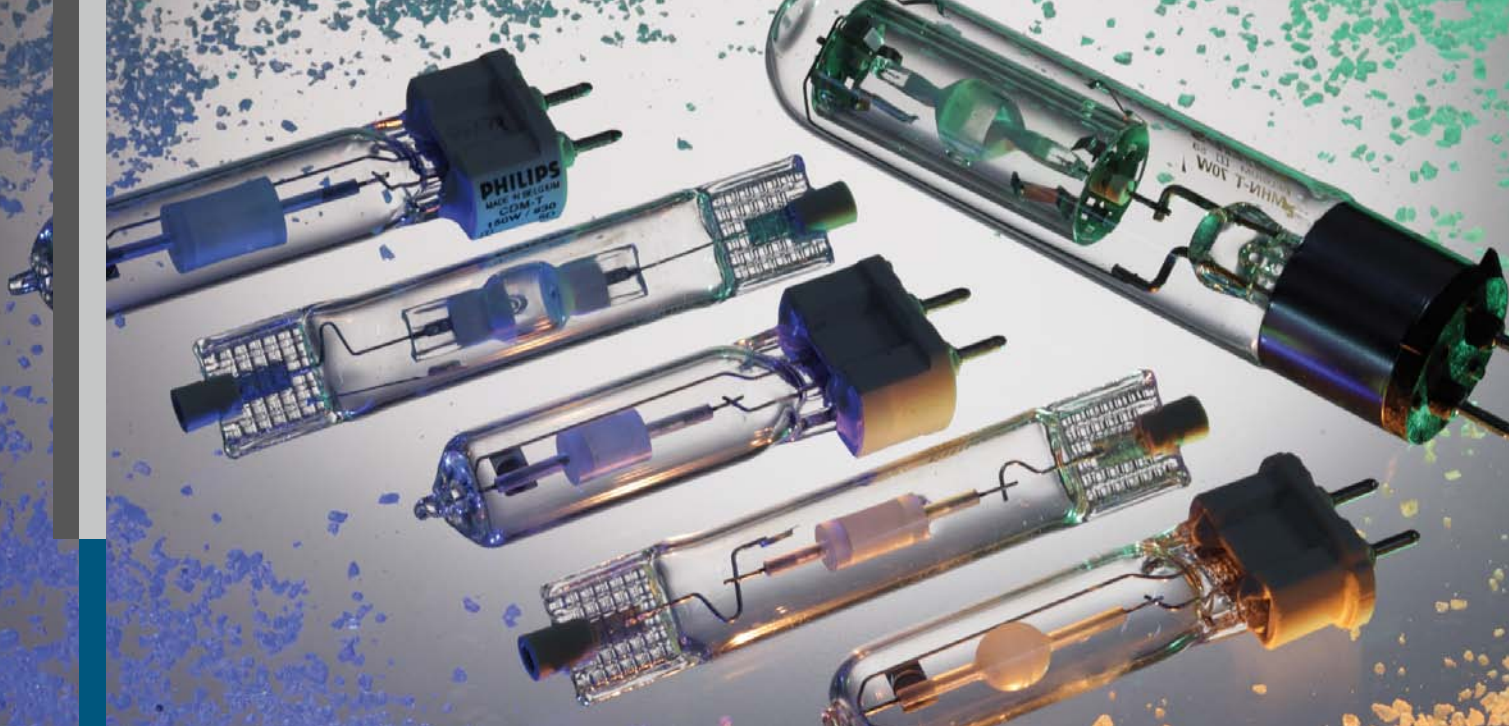
Das Ergebnis: Würden durch ständigen Nachschub von Schwefel 5,3 Millionen Tonnen Sulfate in der Stratosphäre gehalten, wobei die Sulfateilchen genau so groß wie bei einem Vulkanausbruch wären, würde sich die Ozonschicht über der Arktis bis um ein Drittel reduzieren. Diese Menge an Sulfaten wäre Paul Crutzen zufolge aber nötig, um einer Verdoppelung des CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre entgegenzuwirken. Ähnlich effizient lässt sich das einfallende Sonnenlicht mit 1,5 Millionen Tonnen besonders kleiner Sulfateilchen blocken –

dann aber würde sogar bis zur Hälfte der Ozonschicht verloren gehen. Besonders riskant wäre es, wenn sich nach einem künstlichen Eintrag von Sulfaten noch ein natürlicher Vulkanausbruch ereignet. „Dann wäre mit einem noch stärkeren, sehr ernsthaften Ozonabbau zu rechnen“, sagt Müller.

Über der Antarktis ist zusätzlicher Ozonverlust kaum noch möglich, da dort derzeit in jedem Frühling nahezu das gesamte Ozon in der Stratosphäre zerstört wird. Zwar wurden Produktion und Verbrauch der FCKW schon seit Ende der 1980er-Jahre eingeschränkt, doch wegen der Langlebigkeit der FCKW in der Atmosphäre beginnt sich die Ozonschicht gerade erst zu regenerieren. Der künstliche Eintrag von Sulfatpartikeln würde aber dazu führen, dass sich das Ozonloch 30 bis 70 Jahre später schließt, als bisher erwartet wird.

Andere Klimaforscher warnen vor weiteren Nebenwirkungen, etwa saurem Regen. Angesichts dessen erscheinen öffentliche Gedankenspiele wie die des US-Wissenschaftlers Alan Robock vorzeitig: Er hat bereits berechnet, wie viele Militärjets gebraucht würden, um den Schwefel in die Stratosphäre zu bringen.

Frank Frick



Licht mit der richtigen Prise Salz

In Gasentladungslampen wie den handelsüblichen Leuchtstoffröhren sorgt die Beimischung von Salzen für die gewünschte Lichtfarbe. Bestimmte Gasentladungslampen erfordern für ihren Betrieb den Zusatz von Quecksilber. Den Einsatz dieses Giftstoffes will die EU in Zukunft verbieten. Durch Weglassen des Quecksilbers verändert sich aber die Farbwirkung der Lampen. Jülicher Forscher helfen der Industrie nun dabei, die richtige Salzmischung zu finden.

Nicht nur Köche versuchen, mit einer genau dosierten Prise Salz das Ergebnis ihrer Arbeit zu verbessern, auch die Hersteller von Lampen tun dies. Denn durch Beimischen von Salzen, zum Beispiel des dem gewöhnlichen Kochsalz verwandten Natriumiodids, lässt sich das Farbspektrum einer Lampe verändern. Doch Salze sind chemische Verbindungen, die im Inneren einer heißen Lampe vieles anstellen können. „Wenn man weiß, wie die Salze miteinander und mit dem Material des Lampengefäßes reagieren, dann kann man das

Lichtspektrum der Lampe gezielt beeinflussen“, sagt Dr. Torsten Markus. Er sorgt mit seinem Team vom Institut für Energieforschung dafür, dass Firmen wie Philips oder Osram das wissen.

Speziell kümmert Markus sich um Hochtemperaturladungslampen, die unter anderem in Autoscheinwerfern eingesetzt werden. In diesen Lampen hat Quecksilber die Aufgabe, die Betriebsspannung hoch zu halten, verhält sich aber ansonsten chemisch neutral. Die Absicht der EU-Kommission, die Verwendung des Umweltgiftes Quecksilber in Lampen zu

verbieten, hat ein Problem aufgeworfen: Denn der derzeit favorisierte Ersatzstoff Zinkiodid reagiert sowohl mit den Salzen als auch mit dem Wandmaterial der Lampen. Deshalb entsteht durch eine Prise aus einigen wenigen Salzen in einer Lampe eine Fülle bisher unbekannter Stoffe, die alle die Lichtfarbe der Lampe beeinflussen.

Während in einer Glühlampe ein Wolframdraht zum Glühen gebracht wird, werden in Gasentladungslampen Gasatome zum Leuchten angeregt. Das Licht entsteht, wenn Elektronen die Bahn wechseln,

Farbiges Licht beeinflusst unsere Stimmung. In Entladungslampen sorgen Salzbeimischungen für den richtigen Farbton.



auf der sie um den Atomkern kreisen. Die Energie, die dazu erforderlich ist, ein Elektron auf eine höhere Bahn zu bringen, liefert der elektrische Strom, der zugeführt wird. Beim „Herunterfallen“ auf die ursprüngliche Bahn strahlt das Elektron die überschüssige Energie als Licht ab. Der springende Punkt ist nun: Die Farbe des abgestrahlten Lichts hängt von den Abständen der Elektronenbahnen ab. Deshalb besitzen jedes chemische Element und jede chemische Verbindung ein spezifisches Spektrum an Lichtfarben.

Die Mischung macht's – auch im Dampf

In Gasentladungslampen nutzt man dies aus, indem man der Lampe verschiedene Salze beifügt, um das Farbspektrum des abgestrahlten Lichts zu bestimmen. „Das Lichtspektrum beeinflusst unsere Stimmungen“, erläutert Markus. „Zum Beispiel möchte man am Frühstückstisch ein anderes Licht haben als abends im Wohnzimmer. Darauf stellt die Industrie sich ein.“

Anders als in Leuchtstoffröhren, bei denen die Salze auf die Wände der Lampe aufgestrichen werden und dort bleiben, verdampfen sie in den Hochtemperaturladungslampen, sobald diese eingeschaltet werden. Dieser Effekt ist erwünscht und steigert, genau wie die hohe Temperatur, die Effizienz der Lampe. Doch beim Einstellen des gewünschten

Farbspektrums schafft er Probleme. Denn entscheidend für den Beitrag, den das jeweilige Salz zur Gesamtfarbe liefert, ist in den Hochtemperaturladungslampen der verdampfte Salzanteil. „Aber das ursprüngliche Mischungsverhältnis der Salze im festen Zustand entspricht nicht dem im Gaszustand“, erklärt Markus. „Außerdem reagieren die verdampften Salze miteinander und bilden neue chemische Verbindungen, die man vorher gar nicht auf der Rechnung hatte.“ Doch damit nicht genug: Die Salze reagieren auch mit der Wand des Lampengefäßes. Die besteht in neueren Entladungslampen aus Aluminiumoxid, weil dieses Material höhere Temperaturen verträgt als das bisher übliche Quarzglas.

Damit das Zusammenmischen der richtigen Salzpreise für das jeweils beabsichtigte Farbspektrum für die Industrie nicht zum Glücksspiel wird, untersuchen die Jülicher Forscher, was mit den Salzen passiert, wenn man sie verdampft. Dazu werden in einem beheizbaren Gefäß die gleichen Bedingungen hergestellt wie im Inneren der Lampe. „In den Lampen benutzt man zur Einstellung der gewünschten Farbe in der Regel fünf oder sechs verschiedene Salze“, erläutert Markus. „Wir füllen zunächst einmal nur zwei Salze in das Gefäß, um gezielt die Wechselwirkungen zwischen diesen beiden zu untersuchen.“

Nach dem Start wird in Entladungslampen zunächst kaum Licht abgegeben, bis eine nennenswerte Menge Quecksilber verdampft und der Innendruck gestiegen ist.

Das Gefäß entlässt einen kleinen Teil seines Gasinhalts in ein sogenanntes Knudsen-Effusions-Massen-Spektrometer. Dieses Gerät ermittelt die Anteile aller Stoffe, die sich im Gas befinden. Neben den beiden Salzen können das Stoffe sein, die sich aus ihnen gebildet haben.

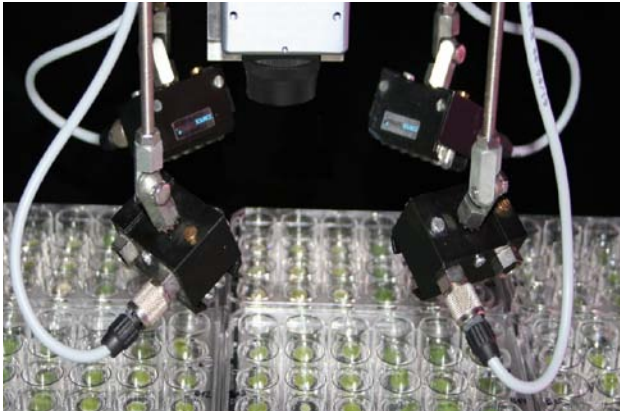
„Diese Ergebnisse benutzen wir zur Erstellung von Computermodellen“, sagt Markus. „Wenn wir dem Computer dann sagen, welche Salze wir einfüllen, spuckt er als Ergebnis die Anteile aller im Gas vorhandenen Stoffe aus – einschließlich derer, die aus einer Verbindung eines Salzes mit dem Wandmaterial der Lampe entstanden sind.“ Diese Computermodelle stellt Markus' Team der Industrie zur Verfügung. Beim „Komponieren“ des Farbspektrums aus den gasförmigen Stoffanteilen lassen sich die Firmen dann nicht mehr so gerne in die Karten schauen.

Axel Tillemans

Nachrichten

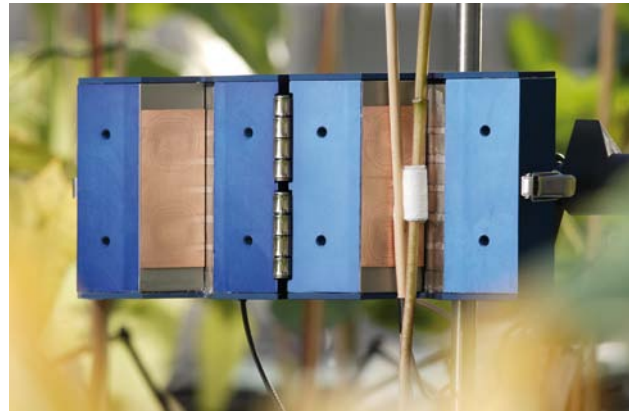
aus der Umwelt- und Energieforschung

Forscher und Gründer

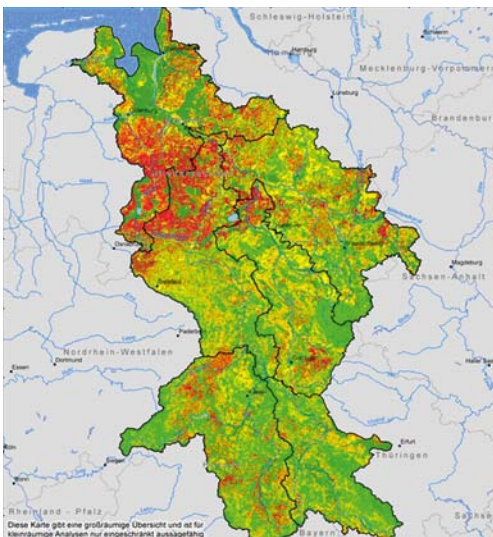


800 ausgestochene Blattscheiben zugleich im Blick behalten kann ein System, das die Jülicher Pflanzenforscher Bernhard Biskup und Dr. Grégoire Hummel entwickelt haben. Mithilfe von zwei Kameras, Infrarot-LEDs zur Beleuchtung und einer intelligenten Bildauswertungssoftware vermisst das System das Wachstum der Scheibchen, das bemerkenswerterweise genauso verläuft wie das der ganzen Pflanze. Das Gerät kann so helfen, ertragreiche Pflanzen zu züchten oder Pflanzenschutzmittel kostengünstig zu testen. Anfang 2010 soll es auf den Markt kommen – als erstes Produkt des Unternehmens „PhenospeX“. Mit ihrer Geschäftsidee überzeugten Biskup und Hummel im Businessplan-Wettbewerb des Verbands Neues Unternehmertum Rheinland e.V. Sie gewannen in Stufe eins und zwei jeweils einen der Hauptpreise.

Netzwerke für Nutzpflanzen



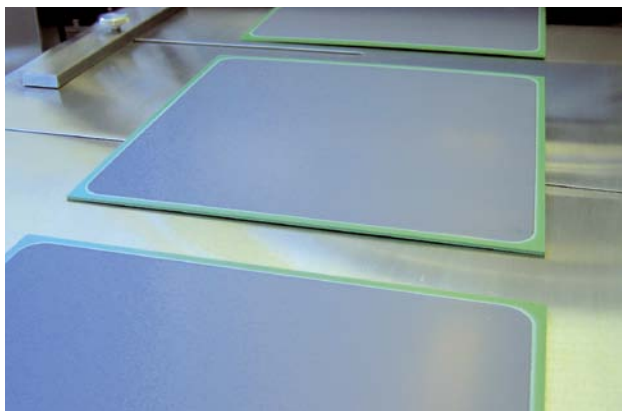
Als eines von vier strukturbildenden Projekten siegte das Kompetenznetz „CROPSense“ unter Leitung des Forschungszentrums Jülich und der Universität Bonn bei der Ausschreibung „Kompetenznetze Agrar- und Ernährungsforschung“ des Bundesforschungsministeriums. Jülicher Forscher entwickeln mit Partnern aus Hochschulen und Wirtschaft Analysemethoden für eine verbesserte Pflanzenzüchtung und -forschung. Mit innovativen Sensorsystemen sollen Eigenschaften von Pflanzen erfasst, angepasst und kombiniert werden. Die strukturellen und funktionellen Eigenschaften von Pflanzen – also ihren Phänotyp – rasch und präzise erfassen kann das Jülich Plant Phenotyping Centre (JPPC). „Das JPPC ist schon heute eine international führende Plattform zur Phänotypisierung von Pflanzen, die weltweit vernetzt ist“, sagt der Initiator Prof. Ulrich Schurr. Das Ziel: höhere Erträge bei gleichzeitiger Ressourcenschonung.



Gewässerbelastung berechnet

Nitrat im Grundwasser ist ein Problem, denn etwa drei Viertel unseres Trinkwassers stammen aus dieser Quelle. Eine von Dr. Frank Wendland geleitete Forschungsgruppe des Jülicher Bereichs Agrosphäre erarbeitet Methoden für ein nachhaltiges Management von Wassereinzugsgebieten. Mit den Simulationsmodellen WEKU und GROWA berechnen die Forscher, wie sich Nitrat, das zum größten Teil aus Dünger stammt, in Gewässern und im Grundwasser verteilt. Dokumentiert sind die Ergebnisse im Nitratbericht des Verbraucherschutz- und des Bundesumweltministeriums, der im Mai 2009 veröffentlicht wurde. Sie schaffen die Grundlage für wirkungsvolle Maßnahmen zum Schutz der Wasserqualität.

Weltspitze bei alternativen Energien



In einer aktuellen Studie zu den weltweit leistungsfähigsten Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der alternativen Energien belegt das Forschungszentrum Jülich einen ausgezeichneten vierten Platz. Die Jülicher Energieforscher sind neben dem Helmholtz-Zentrum Berlin die einzigen Europäer unter den Top Ten der Liste. Der Verfasser der Studie, der Elsevier-Verlag, analysierte für die Rangfolge von 3 000 Instituten weltweit 5,6 Millionen Fachveröffentlichungen aus den Jahren 2003 bis 2007. www.fz-juelich.de/portal/kurznachrichten/juli2009#welt

Untersuchen ohne zu zerstören

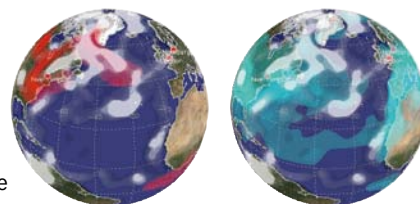


Ganze Bäume untersuchen, und zwar ohne Axt oder Säge anzulegen – das kann der Magnetresonanztomograf für Pflanzen, der im Frühjahr 2009 in einem Gewächshaus des Forschungszentrums Jülich installiert wurde. Das sechs Tonnen schwere Gerät mit einer Feldstärke von 1,5 Tesla ermöglicht Untersuchungen von Pflanzen samt Wurzelwerk mit Durchmessern bis zu 30 Zentimetern und Höhen bis zu vier Metern. Forscher können damit in das Innere von Pflanzen und Böden schauen, ohne in das lebendige System einzugreifen oder es zu beschädigen.

Chemie-Klima-Vorhersage

Im Rahmen des EU-Projekts GEMS (Global Environmental Monitoring using Satellite and in-situ data) entwickelten Jülicher Forscher mit 31 europäischen Partnern ein Vorhersagesystem für die Luftchemie. Aus Beobachtungsdaten wichtiger Luftschadstoffe, Treibhausgase und Aerosole werden in Computersimulationen am Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage globale und regionale Vorhersagen errechnet. Dabei kommt das in Jülich mitentwickelte Chemie-Transportmodell MOZART zum Einsatz. Erfasst wird die globale Verteilung der genannten Atmosphärenbestandteile, die Klima, Luftqualität und

UV-Einstrahlung beeinflussen. „Wir hoffen, dass diese Vorhersagen bald ebenso selbstverständlich sind wie die tägliche Wettervorhersage“, sagt Dr. Martin Schultz, der vom Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre, ein Teilprojekt von GEMS koordiniert. Im April 2009 war Jülich Gastgeber des GEMS-Abschlusssymposiums. Fortgeführt werden die Arbeiten im EU-Projekt „Modeling Atmospheric Composition and Climate“.



IMPRESSUM

Forschen in Jülich Magazin des Forschungszentrums Jülich, ISSN 1433-7371 **Herausgeber:** Forschungszentrum Jülich GmbH | 52425 Jülich **Konzeption und Redaktion:** Dr. Wiebke Rögener, Dr. Anne Rother (v.i.S.d.P.), Stefanie Tyroller, Annette Stettien **Autoren:** Dr. Wiebke Rögener, Dr. Frank Frick, Dr. Axel Tillemans **Design und Layout:** Grafische Medien, Forschungszentrum Jülich **Bildnachweis:** Forschungszentrum Jülich (Titelbild, S. 3, S. 4 li. u., S. 6 re., S. 7 li. o., re. o., u. M., u. re., S. 8/9, S. 12 o., S. 14 – 17, S. 20 li. o., li. M., re. u., S. 21 li. u., re. M., re. u., S. 23 u., S. 25 re., S. 30/31, S. 33, S. 36/37, S. 38 o. li., o. re., S. 39), NASA (S. 2, S. 10, S. 21 o. li., S. 35), DLR (S. 11 re., S. 18, S. 21 o. re.), GEMS/NASA (S. 38 u.), Photothek (S. 22 li.), PNAS (S. 7 li. u.), Synthes (S. 6 li.), RWE (S. 20 u. li., S. 23 o.), fotolia (S. 13, S. 24, S. 25 li. u.), dfd (S. 4 u. re., S. 26/27), Mauritius (S. 19), Thomas Klink (S. 4 o., S. 11 o. li., S. 20 o. re.), Linde AG (S. 32), IPCC, Fourth Assessment Report (S. 25 li. u.), Steffen Beirle, MPI Mainz (S. 28), CRNS (Abb. S. 12), Lufthansa AG (S. 12 u.) **Kontakt:** Stabsstelle Unternehmenskommunikation | Tel. 02461 61-4661 | Fax 02461 61-4666 | info@fz-juelich.de **Druck:** Rhein-Ruhr-Druck GmbH & Co. KG **Auflage:** 15 000



Mitglied der:

