Der Atem der Erde

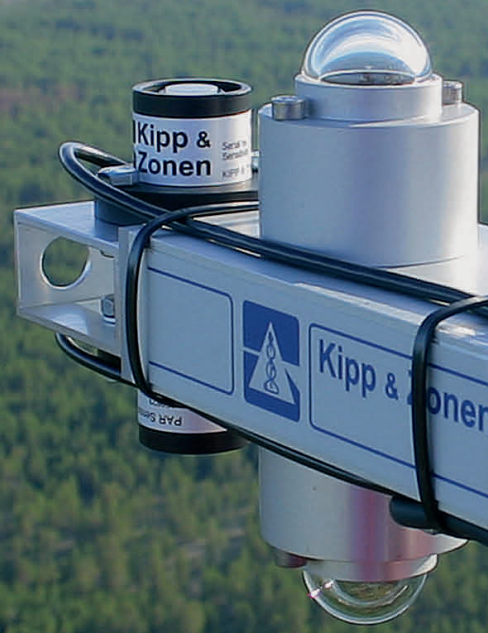
Das Klima hängt auf vielfältige Weise mit den Mengen an Kohlendioxid und anderen Spurengasen zusammen, die Vegetation und Boden mit der Atmosphäre austauschen. Dieses komplexe Gefüge analysieren **Markus Reichstein** und seine Kollegen am **Max-Planck-Institut für Biogeochemie** in Jena – mit einem weltumspannenden Netz aus Messstationen und neuen Methoden der Datenanalyse.

TEXT **UTE KEHSE**

Der Klimaforschung steht ein Generationenwechsel bevor: Wenn im Herbst 2013 der erste Teil des fünften Berichts des Weltklimarats IPCC erscheint, dann beruhen die Ergebnisse auf Computersimulationen des Erdklimas, in denen das Leben auf der Erde eine weitaus größere Rolle spielt als in der Vergangenheit. Denn die Modelle enthalten heute weit mehr Vorgänge, die sich in der Biosphäre an Land und im Meer abspielen, als noch vor ein paar Jahren. Und sie beziehen den Kreislauf des Elements Kohlenstoff ein, das in Form von Kohlendioxid die Atmosphäre erwärmt, in Form organischer Verbindungen aber der entscheidende Baustoff der Biosphäre ist. Die Klimaforscher nennen ihre Computerprogramme nun Erdsystemmodelle, im Gegensatz zu den bisherigen Ozean-Atmosphären-Modellen, die im vierten IPCC-Bericht 2007 noch Stand der Forschung waren.

Der Versuch, die Vorgänge des Lebens mit Computern zu berechnen, ist freilich kein einfaches Unterfangen. Markus Reichstein vergleicht den Planeten gern mit einem Organismus, wenn er Zuhörern die komplexen Vorgänge auf der Erde begreiflich machen will. „Dieses Bild passt eher als das einer rein physikalischen Maschine“, sagt der Direktor der Abteilung Biogeochemische Integration am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena. Wie ein Organismus besitzt die Erde einen Stoffwechsel, in dem Elemente wie Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und Wasser eine wichtige Rolle spielen. Das System Erde besteht aus verschiedenen, miteinander gekoppelten Komponenten und entwickelt sich fortwährend weiter.

„Die einzelnen Teile des Erdsystems – Atmosphäre, Meere, Eis- und Schneeflächen sowie Landökosysteme – hängen aber nicht so eng zusammen wie die Organe eines Lebewesens“, sagt er. Für uns Menschen ist beispielsweise die Lunge ein lebenswichtiges Organ. Was würde passieren, wenn die Regenwälder verschwänden, die oft als Lunge des Planeten bezeichnet werden? „Sicherlich wäre das ein kritisches Ereignis, aber mit ziemlicher Sicherheit würde



Blick über die sibirische Taiga: Der Turm der Klimaforschungsstation ZOTTO (*Zotino Tall Tower Observatory*) ist mit hochpräziser Messtechnik ausgestattet. Das Bild zeigt Instrumente, mit denen Forscher die Strahlungsbilanz ermitteln.

Foto: MPI für Biogeochemie

das Leben nicht völlig von der Erde verschwinden“, sagt Reichstein.

Das Problem liegt darin, dass auch die neuen Erdsystemmodelle bislang noch nicht besonders gut voraussagen können, wie die Vegetation auf Klimaänderungen reagiert – und wie sich Veränderungen in der Pflanzendecke umgekehrt auf das Weltklima auswirken. „Derzeit nimmt die Biosphäre an Land etwa ein Viertel der menschlichen Kohlenstoffemissionen auf. Aber es ist unsicher, ob diese natürliche Senke in Zukunft genauso stark bleiben wird, wie sie jetzt ist“, sagt Reichstein. Die Frage, wie sich Atmosphäre und Biosphäre gegenseitig beeinflussen, ist das Thema von Reichsteins Abteilung.

In den letzten Jahren haben er und seine Kollegen einige unerwartete Dinge über die Biosphäre als Klimafaktor herausgefunden. 2010 berichteten sie beispielsweise, dass die Savannen gleich nach den Regenwäldern der zweitwichtigste Kohlenstoffschlucker auf der Erde sind. Niemand hatte vorher damit gerechnet, dass hier ein Viertel des organischen Materials entsteht, das Pflanzen weltweit produzieren.

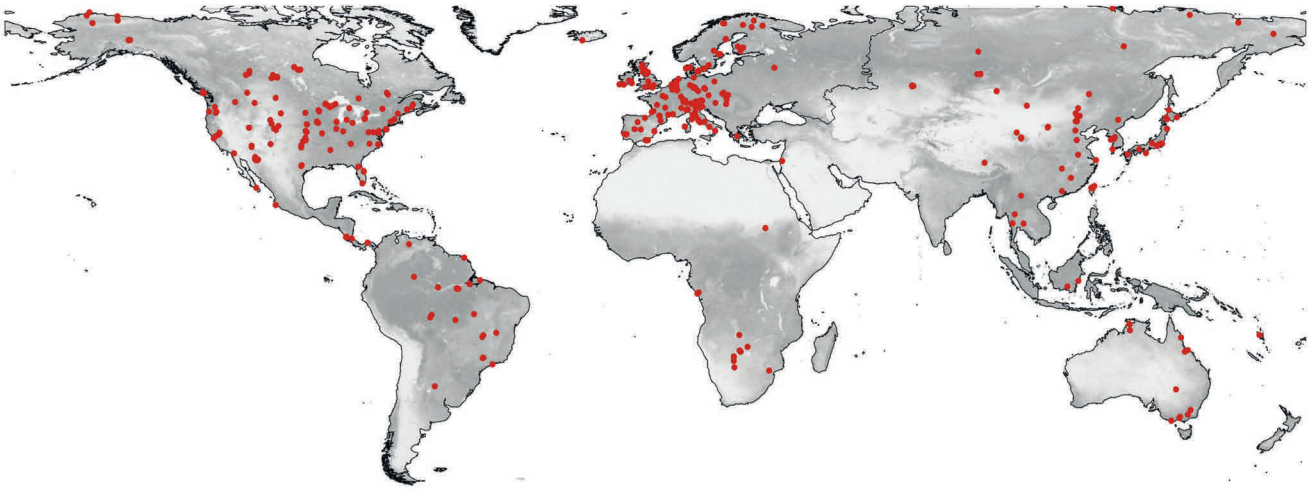
In einer anderen Studie belegten die Jenaer Forscher, dass das Pflanzenwachstum in vielen Gegenden der Erde vor allem davon abhängt, wie viel Wasser den Pflanzen in Form von Bodenfeuchte zur Verfügung steht – und weniger von der Temperatur. „Das klingt zwar auf den ersten Blick relativ banal, wird aber in den derzeitigen Erdsystemmodellen nicht richtig beschrieben“, sagt Reichstein. Sowohl die Niederschlagsverteilung als auch die Reaktionen der Ökosysteme darauf können noch nicht gut vorhergesagt werden.

Eine weitere überraschende Erkenntnis lieferte ein Team um Sönke Zaehle, der in Reichsteins Abteilung die Arbeitsgruppe Terrestrische Biosphärenmodellierung leitet. 2011 untersuchten er und seine Kollegen, welchen Klimaeffekt Mineraldünger hat. Einerseits wirkt Dünger der globalen Erwärmung entgegen: Pflanzen wachsen stärker, wenn sie gut mit Nährstoffen versorgt werden. Sie saugen also mehr Kohlendioxid (CO_2) aus der Atmosphäre auf. Andererseits hat Dünger auch eine klimaschädliche Wirkung. Denn gedüngter Boden setzt verstärkt Stickoxide frei, darunter das starke Treibhausgas Lachgas. Die Modellrechnungen der Forscher zeigten, dass die Lachgasemissionen den positiven Effekt des Pflanzenwachstums wieder zunichtemachen.

Vermutlich gibt es in der Biosphäre noch zahlreiche weitere, bislang unbekannte Zusammenhänge oder Rückkopplungen mit Wirkung auf das Klima. „Immer wenn die Biologie ins Spiel kommt, wird das System deutlich

Auf dem Institutsdach in Jena testen die Forscher verschiedene Instrumente, die später im Feld an den Fluxnet-Standorten zum Einsatz kommen. Sie messen Windgeschwindigkeiten und Spurengaskonzentrationen sowie Strahlung, Temperatur und Luftfeuchte.

Foto: MPI für Biogeochemie



Globale Überwachung: Mehr als 500 Fluxnet-Messstationen (rote Punkte) zeichnen rund um die Welt den Austausch von Kohlendioxid und Wasser in verschiedenen Ökosystemen auf.

schwerer vorhersehbar“, sagt Miguel Mahecha, Leiter der Arbeitsgruppe Globale Empirische Inferenz. Während sich die Prozesse in der Atmosphäre gut mit physikalischen Formeln beschreiben lassen, ist über die mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Biosphäre bislang nur wenig bekannt.

Ein weiterer großer Unsicherheitsfaktor ist der Boden. Wie viel Kohlenstoff im Boden gebunden ist und wie lange er dort verweilt, wissen die Forscher nicht genau (siehe MaxPlanckForschung 4/09). So vermuten sie in der obersten Haut der Erde inzwischen doppelt so viel Kohlenstoff wie noch vor 20 Jahren. „Wir nennen den Boden auch die dunkle Materie der Erdsystemforschung“, scherzt Markus Reichstein.

Er und seine Kollegen gehen daher einen neuen Weg, um den Regeln der Biosphäre auf die Spur zu kommen. „Die Devise hier heißt: *Data first*“, sagt Miguel Mahecha. Die Forscher überwachen den Zustand der Ökosysteme möglichst genau mit Satelliten und Messstationen. Anschließend analysieren sie die Daten mit innovativen Methoden aus dem Bereich des maschinellen Lernens, um nach Mustern und unbekannten Zusammenhängen zu suchen.

MESSINSTRUMENTE ÜBER DEN HÖCHSTEN WIPFELN

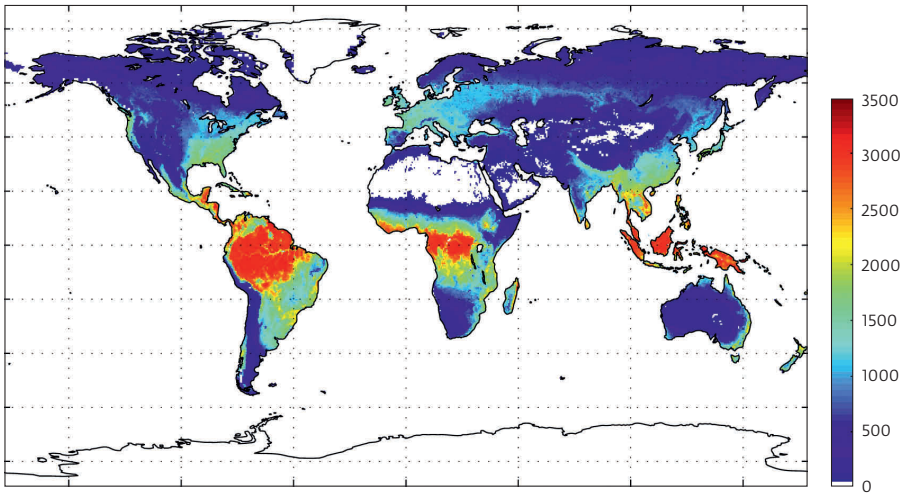
Neben Satellitendaten ist Fluxnet dabei das wichtigste Werkzeug der Jenaer Forscher, ein weltweites Netz aus mehr als 500 Messstationen. Diese mikrometeorologischen Stationen überwachen den Austausch verschiedener Spurengase zwischen Biosphäre und Atmosphäre im Halbstundentakt, und zwar direkt in der Übergangszone zwischen diesen beiden Teilen des Erdsystems.

Die Messgeräte befinden sich auf Türmen wenige Meter über den höchsten Baumwipfeln, wo sich die Luftströmung in viele turbulente Wirbel teilt. Die Instrumente messen, wie viel Kohlendioxid etwa ein Wald, ein Moor oder eine Steppe aufnimmt oder abgibt, wie viel Wasserdampf, Methan oder Stickoxide die Ökosysteme freisetzen, und außerdem, wie hoch Temperatur, Niederschlag und Sonneneinstrahlung sind. Wie ein Arzt, der einen Patienten auf der Intensivstation mit zahlreichen Elektroden überwacht, zeichnen die Geoökologen um Reichstein mit diesen Messtürmen die Vitalzeichen der Biosphäre auf.

Die Stationen verwenden dabei die sogenannte Eddy-Kovarianz-Methode: Die Messgeräte messen einerseits die Windgeschwindigkeit in vertikaler Richtung und andererseits die Konzentration verschiedener Spurengase, beides zehnmal pro Sekunde. Da die Luft kurz über

Die Fluxnet-Messungen liefern den Forschern auch Informationen darüber, wie viel Wasserdampf, Methan oder Stickoxide die Pflanzen in Wäldern (links) oder Mooren (rechts) freisetzen.

Grafik: MPI für Biogeochemie – Ulrich Weber (oben); Fotos: 123RF (unten links), fotolia (unten rechts)



Weltkarte zur Produktivität von Ökosystemen: Die unterschiedlichen Farben geben die Aufnahmeraten von Kohlendioxid an (in Gramm Kohlenstoff pro Quadratmeter pro Jahr). Rote Regionen sind besonders produktiv. Die Karte basiert unter anderem auf den Fluxnet-Daten.

der Vegetation verwirbelt wird, registrieren die Messgeräte mal einen Luftstoß nach oben, mal einen nach unten. Wenn etwa die Luftströmungen in Richtung Atmosphäre über einen bestimmten Zeitraum eine höhere CO_2-Konzentration enthalten als die nach unten, ergibt sich insgesamt ein CO_2-Fluss von der Biosphäre zur Atmosphäre.

AUF DER SUCHE NACH UNBEKANNTEN MUSTERN

„Bis vor wenigen Jahren gab es technische Grenzen für diese Methode, doch jetzt ist sie sehr stark im Kommen“, berichtet Markus Reichstein. Unter anderem auf seine Initiative hin schlossen sich die bestehenden regionalen Netzwerke in Europa, Nordamerika, Asien und Australien zum globalen Netz Fluxnet zusammen. Die Daten werden zentral gespeichert, einheitlich prozessiert und sind für alle beteiligten Forscher frei zugänglich.

Zusammen mit den Satellitenmessungen ergeben die Fluxnet-Daten einen relativ guten Überblick über den Zustand der verschiedenen Ökosysteme auf der Erde. „Nur in den Tropen ist das Netz noch ein wenig dünn“, sagt Reichstein. Man könne natürlich nicht an jedem Punkt der Erde alles zu jeder Zeit beobachten. Die Jenaer Forscher arbeiten aber daran, mithilfe der Fluxnet-Standorte und der Satellitendaten ihre statistischen Modelle so zu kalibrieren, dass sie jeden Fleck auf der Erde beschreiben können, auch jene zwischen den Messpunkten. „So erhalten wir eine Art Diagnose: Wir beschreiben den aktuellen Zustand der Erde“, erläutert Reichstein.

In diesen Daten fahnden er und seine Kollegen nach unbekannten Mustern und Zusammenhängen. Dabei arbeiten sie eng mit Forschern um Bernhard Schölkopf vom Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Tübingen zusammen. Die Mathematiker sind Experten für maschinelles Lernen und entwickeln beispielsweise Algorithmen zur Gesichtserkennung. Mit den gleichen Algorithmen suchen die Jenaer Forscher um Markus Reichstein nach Mustern in ihren Klima- und Vegetationsdaten, beide Gruppen haben einen gemeinsamen Doktoranden. „Die Kooperation klappt hervorragend, wir haben schon gemeinsame Fachartikel veröffentlicht und arbeiten an weiteren Studien“, sagt Miguel Mahecha.

Die Zusammenarbeit bringt auch die Entwickler in Tübingen weiter, insbesondere in der Arbeitsgruppe um Stefan Hermeling: So kommen bei der Anwendung auf ökologische Daten Probleme ans Licht, die bei anderen Datensätzen wie zum Beispiel bei der Gesichtserkennung keine Rolle spielen. So sind ökologische Messdaten immer mit sehr großen Unsicherheiten behaftet, sie werden teilweise in unterschiedlichen Einheiten erfasst, es gibt systematische Datenlücken, zyklische Ereignisse wie die Jahreszeiten und periodische Klimaveränderungen mit langfristigen Zyklen sowie Trends wie den Klimawandel.

Zudem können Datenmengen der Erdsystemforschung schnell sehr große Dimensionen annehmen. In den einfachsten Datensätzen der Jenaer Gruppe wird alle 0,5 Grad ein Datenpunkt angesetzt, das macht für die Landoberfläche der gesamten Erde mehr als 75 000 Punkte für jedes Zeitintervall. Die nötigen Berechnungen sind schon jetzt eine Herausforderung für die Entwickler. In Zukunft wird die räumliche Auflösung noch deutlich höher sein, so dass mit Hunderten von Millionen Datenpunkten zu rechnen ist.

EINE DIAGNOSE DES AKTUELLEN ZUSTANDS DER ERDE

Doch die Mühe lohnt sich: „Wir finden auf diese Weise Zusammenhänge, die man mit den derzeitigen Erdsystemmodellen nicht erklären kann“, sagt Markus Reichstein. Die 2010 in der Zeitschrift Science veröffentlichte Studie über die Abhängigkeit des Pflanzenwachstums von der Bodenfeuchte beruhte beispielsweise auf dem neuen Verfahren. Auf diese Weise stellten die Forscher aber auch ein Modell auf, mit dem sich unter anderem vorhersagen lässt, wie viel organisches Material die verschiedenen Ökosysteme weltweit unter bestimmten klimatischen Bedingungen produzieren.

Wenn Reichstein und seine Kollegen in ihren Daten einen bislang unbekannten Zusammenhang gefunden haben, suchen sie nach einer physikalischen oder biologischen Erklärung. Der Prozess kann dann wiederum in Formeln beschrieben und ins Erdsystemmodell MPI-ESM der drei Max-Planck-Institute für Meteorologie in Hamburg, für Biogeochemie in Jena und für Chemie in Mainz eingebaut werden. Zusammen mit gut 20 weiteren Erdsystemmodellen anderer Institutionen hat das Max-Planck-Modell die Szenarien berechnet, die im fünften IPCC-Bericht veröffentlicht werden.

Grafik: Nature / MPI für Biogeochemie

Während sich die Abteilung von Markus Reichstein darauf konzentriert, die Kohlenstoffbilanz der Landpflanzen aus den Punktmessungen der Fluxnet-Stationen zu ermitteln, sich also sozusagen von unten nach oben vorzuarbeiten (*bottom-up*), verfolgen die Forscher der Abteilung Biogeochemische Systeme des Jenaer Max-Planck-Instituts den umgekehrten Ansatz: Sie gehen von oben nach unten vor, *top-down*, wie der Direktor Martin Heimann sagt.

„Wir messen an verschiedenen Stellen die CO_2-Konzentration in der Atmosphäre, zum Beispiel mit dem *Zotino Tall Tower Observatory*, einem 300 Meter hohen Messturm in Westsibirien", erklärt der Physiker. Diese Messungen ergeben einen Mittelwert der CO_2-Konzentration, ähnlich wie sie auch in der berühmten Mauna-Loa-Kurve zu sehen ist. Die Werte sind repräsentativ für eine größere Region: Sie zeigen, wie die Pflanzen im Umkreis von vielen Hundert Kilometern im Laufe eines Jahres Kohlendioxid aufnehmen und wieder abgeben.

Beide Methoden liefern ein Bild von der Kohlenstoffbilanz der Vegetation, aber eben aus unterschiedlichen Blickwinkeln. Ähnlich wie in einer Bibliothek, wo man entweder den Gesamtbestand überwachen oder aber Zu- und Abgänge registrieren kann. In der Arbeitsgruppe von Sönke Zaehle, die sowohl der Abteilung von Markus Reichstein als auch der von Martin Heimann angehört, arbeiten Forscher derzeit an der Herausforderung, die beiden Verfahren in einem gemeinsamen Modell zu verknüpfen.

Das Ziel besteht darin, die Unsicherheiten in den Daten zu verringern. „Wir erwarten, dass sich am Ende bessere Datensätze ergeben", sagt Heimann. Der Grund für die Unsicherheiten liegt darin, dass der Stoffhaushalt der Erde viel schwieriger zu überwachen ist als der Bestand einer Bibliothek. Daher kommt es zu Diskrepanzen zwischen den Messungen direkt über der Vegetation und den Beobachtungen in höheren Atmosphärenschichten. >

Markus Reichstein vor dem Institut: In der einen Hand hält er einen Stechbohrer zur Entnahme von Bodenproben, in der anderen eine junge Fichte, die später in Trockenexperimenten verwendet wird.

Foto: MPI für Biogeochemie

Aus den Ergebnissen beider Messmethoden werden die Forscher in Kürze ein stimmiges Bild geformt haben. Dann stünden erste Anwendungen des Modells, das sich aus der Kombination der beiden Verfahren ergibt, auf aktuelle Forschungsfragen an, sagt Heimann. So wird noch klarer, wie viel Kohlenstoff die Landvegetation wann und wo aufnimmt oder abgibt.

ALGORITHMEN FAHNDEN NACH EXTREMEREIGNISSEN

Ein wichtiges neues Forschungsgebiet für das Jenaer Institut sind extreme Klimaereignisse wie zum Beispiel Dürren, Stürme oder wochenlanger Dauerregen. Im EU-Projekt CARBO-Extreme, dessen Koordinator Markus Reichstein ist, untersucht ein internationales Forscherteam, wie sich solche Extremereignisse auf die Kohlenstoffbilanz der Landvegetation auswirken. Viele Forscher haben den Verdacht, dass Extremereignisse den Kohlenstoffzyklus viel stärker durcheinanderbringen als bislang angenommen. Doch wie stark sie die Bilanz verändern, ist bislang unklar – unter anderem deswegen, weil nicht alle Extremereignisse überhaupt auffallen.

„Wir identifizieren solche Ereignisse unter anderem mit den Algorithmen unserer Partner in Tübingen“, berichtet Miguel Mahecha. Allein ausgehend von Satellitendaten, die beschreiben, wie grün die Pflanzendecke ist, haben Mahecha und seine Kollegen beispielsweise nach Perioden extrem geringer Vegetationsaktivität gefahndet, die während der letzten 30 Jahre aufgetreten sind. Anschließend setzten die Forscher die Anomalien in der Vegetation mit dem Klima in Verbindung.

Erwartungsgemäß fanden die Algorithmen bekannte Dürren, etwa die Hitzesommer 2003 in Europa oder 2010 in Russland. Eine Trockenperiode im Amazonas im Jahr 2005 blieb allerdings verborgen, vermutlich weil der Regenwald für Satelliten wegen der vielen Wolken häufig unsichtbar ist. Das Programm spürte aber auch bislang unbekannte Trockenperioden auf, vor allem in abgelegenen Regionen der Erde.

Auf Augenhöhe mit dem Eiffelturm: In 300 Metern Höhe ermöglicht ZOTTO Messungen in Luftschichten, die frei sind von lokalen Einflüssen.

Foto: MPI für Biogeochemie

Beim Vergleich mit den Klimadaten stellten die Forscher fest, dass die meisten Vegetationsanomalien durch Wasserstress ausgelöst wurden. Aber nicht immer: Bei etwa neun Prozent der Ereignisse ließ sich in den Klimadaten keine erkennbare Ursache für das Darben der Vegetation erkennen. „Vielleicht handelt es sich um einen Langzeiteffekt“, vermutet Miguel Mahecha. Manche Bäume schaffen es zwar, eine Dürre zu überleben, sind dann aber so gestresst, dass sie im nächsten Jahr schon unbedeutenden Klimaschwankungen zum Opfer fallen.

Insgesamt, sagt Mahecha, sei der Einfluss von Extremereignissen auf die Kohlenstoffbilanz eher negativ: „Eine starke Anomalie in der Meteorologie führt häufig dazu, dass die Ökosysteme CO_2 verlieren.“ Im Supersommer 2003 ging in Europa beispielsweise durch die Trockenheit etwa so viel Kohlendioxid verloren, wie die Pflanzen in fünf normalen Jahren speichern. Wie sich außerdem zeigte, sind vor allem die stärksten Extremereignisse für die CO_2-Bilanz von Bedeutung. „Diese Erkenntnisse müssen nun stärker in die Modelle des Erdsystems integriert werden“, sagt Markus Reichstein.

Er und seine Kollegen testen die Qualität der verschiedenen Erdsystemmodelle, indem sie die Berechnungen der Programme mit ihren Daten über den Istzustand der Biosphäre vergleichen. So haben sie zum Beispiel untersucht, wie gut die Modelle den Einfluss der Temperatur auf die Bodenatmung beschreiben. Es geht also darum, ob Wurzeln und Bodenmikroben mehr Kohlendioxid ausatmen, wenn es wärmer wird. Die Erdsystemmodelle verwenden dazu unterschiedliche Hypothesen. „Wir untersuchen, ob die Muster, die wir sehen, von den Modellen korrekt beschrieben werden“, erläutert Reichstein.

Ähnlich wie beim Wachstum der Vegetation hängt die CO_2-Ausdünstung des Bodens in der Realität vor allem vom Niederschlag und von der Wasserbilanz ab, zeigen die Studien aus Jena. In den derzeitigen Erdsystemmodellen ist jedoch die Temperatur der wichtigste Antrieb. „Unsere Arbeiten zeigen, dass der Wasserkreislauf oft eine wichtigere Rolle für die Biogeosphäre spielt als die Temperatur. Darauf muss in Zukunft mehr Aufmerksamkeit gerichtet werden“, sagt Reichstein.

Martin Heimann, Direktor am Max-Planck-Institut für Biogeochemie, sammelt Daten von CO_2-Konzentrationen in der Atmosphäre. Zu den Messstationen gehört auch ZOTTO.

Foto: MPI für Biogeochemie

In den Klimamodellen der Zukunft werden die Vorgänge des Lebens wohl noch einen stärkeren Einfluss haben als bislang. Die Invasion fremder Arten oder auch die Frage, welchen Einfluss Wurzeln auf den Boden haben, sind beispielsweise derzeit noch kein Thema für Erdsystemmodelle. Für die Geoökologen aus Jena gibt es also noch viel zu tun, ehe sie den Organismus Erde komplett erfasst haben. ◂

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Die Ozean-Atmosphären-Modelle, auf denen die Prognosen des Weltklimarates IPCC bisher beruhten, werden von Erdsystemmodellen abgelöst. In diesen spielen Prozesse in der Landbiosphäre, wie etwa der Kohlenstoffkreislauf, eine deutlich wichtigere Rolle bei der Vorhersage der künftigen Entwicklung des Klimas.**
- **Auf komplexe Weise beeinflussen die Stoffkreisläufe zwischen Biogeosphäre und Atmosphäre das Klima und umgekehrt. Dabei spielt die Niederschlagsverteilung eine mindestens so große Rolle wie die Temperatur.**
- **Geo- und Klimaforscher müssen besser verstehen und in ihren Modellen repräsentieren, wie der Kohlenstoffkreislauf vom Wasserkreislauf abhängt. Extreme klimatische Ereignisse wie Dürren oder Überschwemmungen wirken sich sehr stark auf die CO_2-Bilanz aus: Eine Dürre kann während eines Sommers die Menge an CO_2 freisetzen, die zuvor über fünf Jahre in Vegetation und Boden gespeichert wurde.**

GLOSSAR

Erdsystem: Das komplexe System der Erde lässt sich in Gänze nur verstehen, wenn man die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Hydrosphäre (vor allem Ozeane, aber auch Seen und Flüsse), Geo- oder Lithosphäre (feste Erdoberfläche), Biosphäre (Ökosysteme), Kryosphäre (eis- und schneebedeckte Regionen) sowie, seit der Existenz des Menschen, auch die Anthroposphäre berücksichtigt.

Maschinelles Lernen: Computerprogramme, die aus Datensätzen Gesetzmäßigkeiten erkennen und entsprechende Modelle erzeugen, welche auf neue, aber ähnliche Daten angewendet werden können.