

Der Norden ergrünt im Computer

Jetzt konnten Klimaforscher mit einem Computermodell bestätigen, was Satellitenbeobachtungen bereits nahe gelegt hatten: Infolge der globalen Erwärmung nimmt der Pflanzenwuchs in den hohen nördlichen Breiten zu.

Von Wolfgang Lucht

Die riesigen Wald- und Tundragebiete im Norden unseres Planeten dürften besonders empfindlich auf Klimaänderungen reagieren. In dieser borealen Zone, deren Jahresmitteltemperatur knapp über dem Gefrierpunkt liegt, begrenzt vor allem der lange Winter das Pflanzenwachstum. Schon durch eine geringfügige Erwärmung der Erde sollte sich die Frostperiode verkürzen und die Vegetationsphase deutlich verlängern. Die Folgen wären weitreichend. Vor allem stiege die Produktion von Biomasse. Dadurch würde mehr Kohlendioxid gebunden, und die Zunahme dieses Treibhausgases in der Atmosphäre, die letztlich die globale Erwärmung verursacht, könnte sich etwas verlangsamen. Da die Weiten Sibiriens, Nordeuropas und Kanadas immerhin fast ein Viertel der bewachsenen Landoberfläche der Erde bedecken, hätte dies möglicherweise Auswirkungen auf den Ablauf des globalen Klimawandels.

Deshalb erregte es großes Aufsehen, als US-amerikanische Wissenschaftler im Jahre 1997 bei der Auswertung der längsten vorhandenen Beobachtungsreihen von Satelliten zu dem Schluss kamen, dass die Vegetationsdichte in der borealen Zone seit 1981 tatsächlich zugenommen habe. Der Befund stieß allerdings auch auf Skepsis. Kritiker bemängelten vor allem, dass die Messdaten von verschiedenen, einander ablösenden Satelliten stammten. Erschwerend kommt hinzu, dass sich die Empfindlichkeit der Messgeräte im All im Laufe der Zeit mit jeweils nur ungenau bekannter Rate verringert. Außerdem verändert sich durch die allmähliche Drift der Satellitenbahnen der Sonnenwinkel der Beobachtungen und damit die vom Blattwerk reflektierte Lichtmenge. War den Trends in den Daten also überhaupt zu trauen?

Jetzt hat eine internationale Gruppe von Wissenschaftlern unter unserer Führung am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) diese Frage mit Hilfe eines Computermodells untersucht. Dabei

konnten wir nicht nur die Schlussfolgerung aus den Satellitendaten bestätigen, sondern auch tiefere Einblicke in die Hintergründe und Folgen des gesteigerten Pflanzenwachstums im hohen Norden gewinnen.

Mehrere Gruppen beteiligten sich an dem Projekt, das größtenteils vom Deutschen Klimaforschungsprogramm Deklim des Bundesforschungsministeriums finanziert wurde. Das US-Team um Ranga Myrneni von der Universität Boston, das die ursprünglichen Satellitenbeobachtungen veröffentlicht hatte, lieferte überarbeitete Daten. Eine französische Arbeitsgruppe trug Messungen der atmosphärischen Konzentration von Kohlendioxid bei, die Rückschlüsse auf die Aktivität der Biosphäre erlaubten. Entscheidend aber war das von drei Teams in Lund, Potsdam und Jena gemeinschaftlich entworfene Dynamische Globale Vegetationsmodell (LPJ-DGVM). Colin Prentice vom Jenaer Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Wolfgang Cramer und Stephen Sitch vom PIK sowie Martin Sykes und Benjamin Smith von der Universität Lund (Schweden) hatten Ende der 1990er Jahre die ersten Versionen dieses Software-Paketes geschaffen.

Simulierte Blattfläche

Das Modell kombiniert vegetationsphysiologische, biochemische, ökologische und biogeografische Informationen, um Stoffkreisläufe in der Biosphäre rechnerisch nachzuvollziehen. Dabei simuliert es nicht nur die räumliche Verteilung wesentlicher Vegetationstypen, sondern auch deren wichtigste Eigenschaften wie Photosyntheserate, Biomasse-Entwicklung im jahreszeitlichen Zyklus, Wasserverdunstung, Verhalten bei Feuereinwirkung und die Konkurrenz mit anderen Pflanzenarten. Im Mittelpunkt steht der Kreislauf des Kohlenstoffs als wichtigstem Bestandteil der Vegetation.

Die neueste Version dieses Modells zogen wir heran, um das Verhalten der Bio-



sphäre in den nördlichen Breiten der Erde in den letzten zwanzig Jahren mit einer räumlichen Auflösung von fünfzig Kilometern zu simulieren. In die Rechnungen gingen ausschließlich monatliche Messwerte für Temperatur, Niederschlag und Bewölkung ein.

Für jeden Ort ermittelt das Programm aus der simulierten Photosynthese, wie viel Kohlenstoff die Pflanzen aus der Atmosphäre aufnehmen und für ihr Wachstum einsetzen. In einem weiteren Schritt modelliert es die Prozesse, die bei der Zersetzung abgestorbener Pflanzenteile – etwa des im Herbst fallenden Laubs – im Boden stattfinden, und berechnet, welche Mengen an Kohlendioxid dabei freigesetzt werden und in die Atmosphäre entweichen. Damit schließt sich der Kreislauf des Kohlenstoffs in der Biosphäre.

Die Resultate unserer Simulation waren überzeugend: Die Schwankungen der Vegetationsdichte, die das Programm aus



◀ Neufundland in Kanada gehört zu der nördlichen Waldzone, deren Vegetation besonders schnell auf Klimaänderungen reagiert. Diese Aufnahme des Sensors Modis (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) auf dem Nasa-Satelliten Terra stammt vom 19. Juni vergangenen Jahres. Instrumente wie Modis erlauben eine verbesserte großflächige Überwachung der Vegetation.

NASA/ESA/USFSC/UBS/ACORN

den wechselnden Witterungsbedingungen in den verschiedenen Jahren berechnete, stimmten sehr gut mit den Messdaten aus dem Weltraum überein. Lag in einem Jahr der maximale Pflanzenwuchs im kurzen nördlichen Sommer über dem Durchschnitt, so zeigte auch das Modell diese Abweichung. Sogar bei monatlicher Auflösung reproduzierte es den beobachteten Verlauf der Vegetationsdichte. Wenn etwa in einem Jahr der Frühling verspätet eintrat, passierte das auch in der Simulation.

Unser Hauptinteresse aber galt dem langfristigen Trend. Tatsächlich zeigt das Modell zwischen 1981 und 1998 in Einklang mit den Satellitendaten eine Zunahme der Vegetationsdichte in der borealen Zone um mehrere Prozent. Zugleich beweist es, dass dieses Ergrünen von dem Temperaturanstieg um 0,8 Grad Celsius im hohen Norden während der letzten zwanzig Jahre herrührt. Hielten wir im Modell nämlich die Temperatur konstant,

blieb die berechnete Vegetationsdichte weitgehend unverändert.

Außerdem ergaben unsere Simulationen in Übereinstimmung mit den Satellitenbeobachtungen einen stetig früheren Beginn der Frühlings. Ende der 1990er Jahre setzte der Pflanzenwuchs im Norden um mehrere Tage eher ein als noch zwei Dekaden zuvor. Da eine analoge Verschiebung auch im Herbst stattfand, verlängerte sich die Vegetationsperiode insgesamt um mehr als eine Woche – eine bedeutende Veränderung bei einer mittleren Wachstumsperiode von nur 3,5 Monaten.

Vulkanausbruch als Nagelprobe

Für einen spannenden zusätzlichen Test unseres Modells sorgte übrigens die Natur selbst: Mitten in unsere Messreihen fiel der Ausbruch des Pinatubo im Juni 1991. Dabei schleuderte der philippinische Vulkan große Mengen an Schwefelgasen in die Stratosphäre. Sie verteilten sich in den fol-

genden Monaten weltweit und bildeten einen Aerosolschleier, der die Sonnenstrahlung abschwächte. Dies führte zu einer globalen Abkühlung um ein halbes Grad. Parallel dazu zeigten die Satellitendaten eine Unterbrechung des Trends zu stärkerem Pflanzenwachstum: Die boreale Biosphäre erlitt 1992 und 1993 einen deutlichen Rückschlag. Allerdings blieb unklar, inwieweit die Aerosolpartikel in der Atmosphäre auch die Satellitenmessungen verfälscht hatten. Unsere Simulation bestätigte jedoch, dass die beobachteten Rückgänge in der Vegetationsdichte real waren.

Der Vulkanausbruch warf aber auch ein Rätsel auf. Die Biosphäre nimmt seit einigen Jahrzehnten mehr Kohlenstoff auf, als sie an die Atmosphäre abgibt. Wie Messungen der atmosphärischen Konzentration von Kohlendioxid zeigten, verstärkte sich dieses Phänomen nach der Eruption. Das widersprach allen Erwartungen; denn wegen der verringerten Sonnenstrahlung ▷

Die Simulationen mit dem Vegetationsmodell LPJ-DGVM stimmen mit den Beobachtungen von Satelliten überein. Seit Beginn der 1980er Jahre tritt in der nördlichen Wald- und Tundrazone der Erde das Frühjahr um mehrere Tage früher ein, und die Pflanzendichte nimmt zu. Der Blattflächenindex gibt an, wie viele Blattschichten sich im Mittel über jedem Quadratmeter befinden. Der Trend zu einem immer grüneren Norden wurde nach dem Ausbruch des Vulkans Pinatubo 1991 unterbrochen, setzte sich dann aber fort.

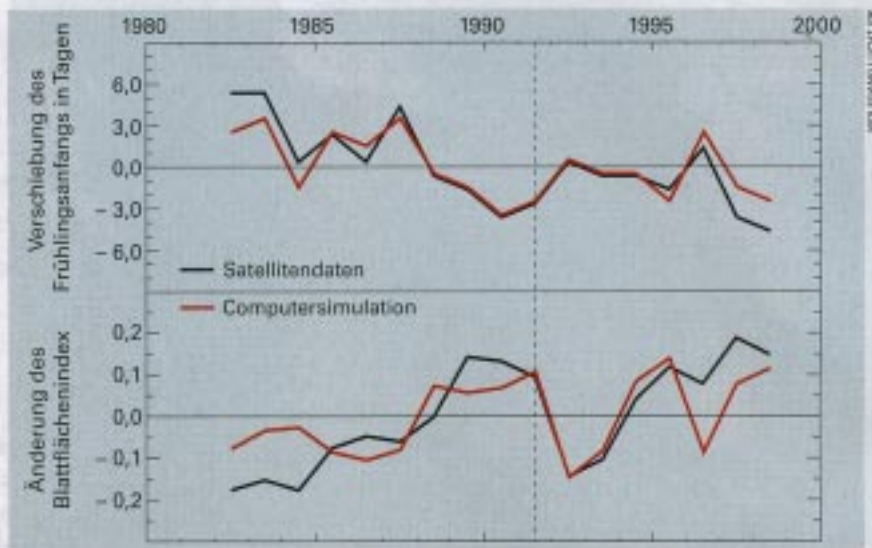
und der niedrigeren Temperaturen wuchsen die Pflanzen langsamer und nahmen daher weniger Kohlenstoff auf als zuvor.

Das Computermodell lieferte die verblüffende Erklärung dieser Paradoxie. Die Abkühlung durch den Ausbruch ließ nicht nur die Biomasseproduktion zurückgehen, sondern auch die mikrobielle Zersetzung von organischem Material im Boden und damit die Rückgabe von Kohlendioxid an die Atmosphäre. Da die Zersetzung stärker abnahm als das Pflanzenwachstum, ergab sich für den Zeitraum nach dem Ausbruch insgesamt eine erhöhte Nettospeicherung von Kohlenstoff in der Biosphäre.

Derzeit wirkt die Biosphäre dem Treibhauseffekt entgegen; denn sie nimmt wegen des gesteigerten Pflanzenwachstums mehr Kohlendioxid auf, als sie abgibt. In etwa fünfzig Jahren allerdings, so sagt unser Modell unter der Annahme eines immer wärmeren Klimas und weiter ansteigender Emissionen von Kohlendioxid voraus, wird das Mehrwachstum durch eine Steigerung der mikrobiellen Zersetzung im Boden ausgeglichen. Dann ist das Potenzial des ergrünenden Nordens als Bremse des Treibhauseffekts ausgeschöpft.

Die Bedeutung der jetzt von uns erzielten Ergebnisse geht somit weit über die boreale Waldzone hinaus. Sie beweisen nicht nur, dass die Biosphäre begonnen hat, auf die globale Erwärmung zu reagieren, sondern machen auch deutlich, dass unsere heutigen Modelle in der Lage sind, dynamische Vorgänge im Pflanzenreich realistisch abzubilden. Damit haben wir ein leistungsstarkes Werkzeug in der Hand, um probeweise in die Zukunft zu schauen und mögliche Szenarien einer kommenden Treibhauswelt vorab zu erkunden. ◀

Wolfgang Lucht ist promovierter Physiker und erforscht am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung die Dynamik der Biosphäre.



FEBRUAR 2003 € 4,90 (D/M) EDITORIAL AUSWAHL DER SPEKTRUM REDAKTION

> »25 Jahre Spektrum« Teil II

> Zuckermedizin

> INTERVIEW:
Tesla und die Zukunft
der Teilchenphysik

www.spektrum.de

ANTARKTIS

Bleibt die Katastrophe aus?

Die Forscher sind sich jetzt einig:
Das Eis am Südpol wird so bald
nicht schmelzen

ZOOLOGIE
Insekten als
Gladiatoren

ASTRONOMIE
Planeten als
Irrläufer

MEERESBIOLOGIE
Korallen in der
Tiefsee