

Wetter und Klimavorhersage mit Hilfe von Großrechnern

Christian Nawroth

11. Januar 2002

Einleitung

Eine wirklich langfristige und präzise Klima- und Wettervorhersage zu treffen, dürfte der Traum vieler (nicht nur) Autofahrer, Landwirte, Militärs und auch vielleicht Reiseveranstalter sein. Mit Hilfe von modernen Großrechnern und komplizierten Gleichungssystemen werden seit einigen Jahren Versuche unternommen, diesen Traum zu erfüllen. Dazu ist es notwendig, das reale Klimasystem der Erde zu abstrahieren, in ein Modell zu fassen und schließlich dieses Modell durch ein mathematisches Gleichungssystem zu beschreiben.

Modellbildung

In diesem Modell müssen die verschiedenen thermodynamischen Prozesse der Erdatmosphäre und der Meeresströmungen berücksichtigt werden. Ausgangspunkt dieser gesamten Strömungen ist die Sonneneinstrahlung, die je nach Einstrahlungswinkel (Abhängig von der Lage eines Ortes auf der Erdkugel und der Jahreszeit), Land- oder Wasseroberfläche, Vegetation, Bewölkung etc. verschiedenste Einflüsse auf das Erdklima hat. Erschwerend kommt hinzu, dass alle klimatischen Prozesse nicht linear auseinander hervorgehen, sondern sich gegenseitig beeinflussen (quasi auch Rückwirkend). Dies hat zur Folge, dass die Codierung solcher Gleichungssysteme in einer Programmiersprache (üblicherweise Fortran) bei komplexen Modellen durchaus eine Millionen Zeilen umfassen kann. Aufgrund der Struktur der Gleichungssysteme haben kleinste Veränderungen der Ausgangsbedingungen unter Umständen einen sehr großen Einfluss auf das Ergebnis. Daher ist man neben optimalen Algorithmen auch auf einen besonders genauen und umfangreichen Bestand an Ausgangsdaten angewiesen. Weitere Probleme sind Klimaeinflüsse, die nicht vorhersehbar sind, wie z.B. Vulkanausbrüche, Flächenbrände aber auch die Abholzung des tropischen Regenwaldes. Diese Ereignisse können allenfalls mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsberechnungen und Statistik vorhergesagt werden, was für eine ernsthafte Klimavorhersage natürlich völlig ungeeignet ist.

Selbst bei Verwendung von optimalen Daten und Algorithmen ist das Wetter heute noch nicht länger als zwei Wochen genau voraussagbar. Möchte man das Wetter über mehrere Jahre, Jahrzehnte oder gar Jahrtausende vorhersagen, spricht man nicht mehr von der Wetter, sondern von Klimavorhersage.

Bei beiden Arten der Vorhersage ist die Genauigkeit der Voraussage von der gewählten Auflösung der Abbildung der Erde auf das Modell abhängig. Hiermit ist die Unterteilung der Erdoberfläche in Gitter mit einem bestimmten Abstand gemeint, wobei für jedes einzelne Kästchen eine mehr oder weniger genaue Aussage getroffen werden kann. Verständlicherweise steigt mit zunehmender Gitterauflösung auch der Rechenaufwand. Der Deutsche Wetterdienst¹ verwendet bei seinen aktuellen Wettersvorhersagen für Deutschland eine Auflösung von 14 km. Somit lassen sich bei räumlich und zeitlich begrenzten Klimavorhersagen Auflösungen von 50 km verwenden. Bei langfristigeren oder auch global orientierten Modellen, werden allerdings Auflösungen von 100km (für) 1000 Jahre, oder gar 1000km (für 10.000 Jahre) benutzt. Wichtig dabei ist auch zu erwähnen, dass alle Vorhersagen immer nur Mittelwerte liefern. Eine genaue langfristige Vorhersage beispielsweise einer bestimmten Temperatur zu einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit ist momentan unmöglich.

Rechnerpower

Um die aufgestellten Modelle zu berechnen ist eine enorme Rechenleistung notwendig. Diese Rechenleistung wird heute in erster Linie durch Parallelrechner-Cluster zur Verfügung gestellt. In der aktuellen Top500² Liste der schnellsten Supercomputer der Welt findet man das schnellste deutsche Modell auf Rang 10. Es handelt sich dabei um ein IBM RS6000 Cluster (SP Power 3 375 Mhz) mit insgesamt 1280 Prozessoren. Die Rechenleistung liegt bei 1417 Gigaflops (= Berechnungen pro Sekunde). Um eine derartige Maschine sinnvoll zu programmieren ist eine speziell zugeschnittene Programmiersprache notwendig. Da früher ein Fortran-Compiler speziell auf Parallelrechner optimiert war und ohnehin C oder C++ Compiler überholte, sind auch heute noch viele Simulationen in Fortran geschrieben. Dabei wird auf den COBRA Schnittstellen Standard zurückgegriffen, der für die Organisation von verteiltem Rechnen entwickelt wurde.

Ein anderer Ansatz das Problem der Rechenleistung in den Griff zu bekommen, zielt nicht auf Großrechner, sondern auf möglichst viele Kleinrechner, die über das Internet teilnehmen. Im Stile des legendären SETI@home³ will das Casino-21-Projekt⁴ viele Internetbenutzer dazu bewegen, sich ein bestimmtes Klimamodell herunterzuladen und auf dem PC zu installieren. Prinzipiell liegt dabei das gleiche Modell zugrunde, dennoch zeichnet sich jede einzelne Version durch

¹www.dwd.de

²www.top500.org

³www.seti.org

⁴www.climateprediction.com

verschiedene Anfangsparameter aus, mit den eben geschilderten Folgen. Ziel des Projektes ist es die mittlere Temperatur für das Jahr 2050 vorherzusagen. Die Rechenzeit beträgt bei einem handelsüblichen PC durchaus ein Jahr oder mehr(!).

Ausblick und Grenzen

Obwohl die zur Verfügung stehende Rechenleistung stetig zunimmt, ist mit genaueren langfristigen Prognosen in den nächsten Jahrzehnten wahrscheinlich nicht zu rechnen. Dazu wäre eine Gitterauflösung von 1 km nötig. Da sich die Rechnerleistung bei einer Verdoppelung der Auflösung um den Faktor 20 steigert, würde dies bedeuten, dass die aktuell verfügbare Rechnerleistung mit dem Faktor 10^7 multiplizieren müsste, was in den nächsten Jahrzehnten wohl noch nicht erreicht wird. Neben der puren Rechenleistung könnten aber auch effizientere Algorithmen oder neue Erkenntnisse in der Meteorologie, die einfachere Modelle zulassen, Fortschritte in der Genauigkeit der Vorhersagen bringen. Insgesamt ein sehr interessantes Gebiet, in dem es für Physiker, Mathematiker, Informatiker und andere Naturwissenschaftler noch eine Menge zu entdecken gibt.

Quellen

c't 26/2000, Dr. Wolfgang Stieler 'Trübe Aussichten'; alle angegebenen URLs