

COMPUTATIONAL EARTH SCIENCES — NUR EIN TEURES COMPUTERSPIEL?

Stefan HERGARTEN

Geologisches Institut der Universität Bonn

Das Forschungs- und Lehrgebiet „Computational Earth Sciences“ ist noch relativ jung. So fällt es schwer, seine Inhalte präzise zu definieren und gegen andere Gebiete abzugrenzen, selbst eine Übersetzung ins Deutsche fällt schwer.

Der Computer ist mittlerweile in vielen Bereichen zum meistverwendeten Werkzeug geworden, und auch scheinbar einfache Softwarewerkzeuge (z.B. statistische Auswertung oder Visualisierung) verwenden teilweise aufwändige Berechnungen. Man könnte daher „Computational Earth Sciences“ am ehesten um zwei Schwerpunkte herum definieren:

Simulation von Geoprozessen

Entwicklung von Werkzeugen zur Datenanalyse, Visualisierung und Interpretation

Der Bedarf an handhabbaren und zuverlässigen Werkzeugen ist in den Geowissenschaften groß, sodass der Wert des zweiten Schwerpunktes unumstritten sein dürfte. Was die Simulation von Geoprozessen betrifft, hat jedoch teilweise eine gewisse Ernüchterung eingesetzt. Die Ergebnisse der ersten größeren Simulationen in den 80er Jahren waren beeindruckend, schließlich sah man erstmals Strukturen, die man von der Erde kannte, als Resultat einer physikalisch basierten Simulation. Etwas ernüchternd mag die Tatsache sein, dass nur sehr wenige von den Phänomenen, mit denen wir uns in den Geowissenschaften befassen, unmittelbar und allein aus physikalischen Grundgesetzen erklären lassen. Nahezu jedes Phänomen ist durch Parameter und Randbedingungen geprägt, welche in vielen Fällen räumlich und zeitlich stark variabel sind und einen mindestens so großen Einfluss haben wie der physikalische Prozess. Der aktuelle Zustand unserer Erde ist das Produkt einer langen Kette von Ereignissen, von denen jedes für sich unwahrscheinlich war. Disziplinen mit einer starken historischen Komponente, z.B. die Geologie, nutzen den starken Einfluss der Randbedingungen auf die Entwicklung, um aus dem aktuellen Zustand die Geschichte zu rekonstruieren. Im Gegensatz haben Disziplinen wie Physik, Chemie und Biologie wesentlich stärkere prädiktive Komponenten, sodass Simulationsergebnisse hier eine größere Allgemeingültigkeit haben. Generell lässt sich die Tendenz feststellen, dass die Bedeutung der numerischen Prozesssimulation um so größer ist, je stärker die prädiktive Komponente in einem Gebiet ist. So ist es nicht überraschend, dass im Umfeld der Erdwissenschaften die Meteorologie das Gebiet ist, aus der die numerische Simulation nicht mehr wegzudenken ist.

Doch auch bei rein prädiktiven Fragestellungen besteht die Gefahr, dass Randbedingungen oder Parameter einen so starken Einfluss auf das Ergebnis nehmen, dass deren Ungenauigkeit gegenüber eventuellen Schwächen der Prozessbeschreibung überwiegt. Ein Beispiel hierfür ist die Simulation von Grundwasserströmungen bzw. der damit verbundene Transport von Schadstoffen. Experimente haben gezeigt, dass Grundwasserleiter oft auf allen Skalen so heterogen sind, dass selbst bei völlig durch Bohrungen durchlöcherter Testfelder keine zufriedenstellenden Ergebnisse erreicht werden.

Etwas überspitzt ausgedrückt, lässt sich das Problem für die klassischen Geowissenschaften so formulieren, dass ein Modell entweder unrealistisch (weil es die Komplexität und Variabilität der Randbedingungen nicht adäquat berücksichtigt) oder in seiner Aussage schwach ist (weil die Ergebnisse zu stark von Parametern und Randbedingungen abhängig sind, die sich nicht mit ausreichender Sicherheit quantifizieren lassen). In Anbetracht dieser Schwierigkeiten ist der Schritt zur Behauptung, Prozessmodellierung in den Geowissenschaften sei nur eine teure Spielerei, nicht groß.

Das Argument der Kosten hat sich allerdings in den letzten Jahren deutlich entspannt. Zwar gibt es am Ende der Skala Großprojekte wie den „Earth Simulator“ in Japan mit mehr als 5000 Prozessoren und einem „Gehäuse“ von 50m x 65m x 17m, doch die Mehrheit von Projekten im Bereich „Computational Earth Sciences“ arbeitet mit PCs, die sich in der Hardware nicht von denen für Office- und Präsentationsanwendungen unterscheiden. Damit ist ein numerisches Labor heute preisgünstiger als beispielsweise ein geochemisches Labor.

Zweifel am direkten Nutzen für die Geowissenschaften lassen sich hingegen nicht pauschal entkräften. Aus dem oben geschilderten Dilemma heraus erscheint es verständlich, dass sich Modellentwickler nicht immer nur auf Themen stürzen, die aus Sicht der Geowissenschaften interessant sind. Phänomene, die neben den historischen Aspekten eine stärkere prädiktive Komponente besitzen, sind oftmals weniger problematisch. In diese Kategorie fallen beispielsweise Themen aus dem Bereich der Naturgefahren. Schon allein durch die jahrzehntelange Entwicklung hat die Erdbebenforschung hier eine Führungsrolle. Erdbeben scheinen eines der Phänomene im Geobereich zu sein, bei denen fundamentale Gesetzmäßigkeiten gegenüber der speziellen geologischen Situation dominant sind. Dies ermöglicht die Übertragung von Ergebnissen zwischen verschiedenen Regionen und macht die Anwendung von Prozessmodellen besonders interessant. Hinzu kommt, dass viele Phänomene im Feld der Erdbebenforschung noch völlig unverstanden sind. So gibt es nach wie vor keine Klarheit über das Auftreten und die Bedeutung von Vor- und Nachbeben, und die Frage, warum Erdbeben über Distanzen von mehreren hundert Kilometern zeitliche Korrelationen aufweisen (die nicht einfach durch Spannungsübertragung zu erklären sind), ist völlig offen. Man kann natürlich darüber streiten, ob eine zuverlässige Vorhersage einzelner Erdbeben jemals möglich sein wird, aber es zeichnet sich ab, dass ein Verständnis des Prozesses mit Hilfe numerischer Modelle essentiell sein wird. Eine Vorhersage allein auf Basis der Auswertung bestehender Erdbebenkataloge wird an Grenzen stoßen.

Neben diesem Paradebeispiel gibt es natürlich zahlreiche weitere Phänomene, bei denen eine numerische Simulation Erkenntnisse liefern kann, die allein aus der Beobachtung nicht gewonnen werden können. So scheinen Hangrutschungen bzw. Bergstürze weltweit eine statistische Größenverteilung zu haben, die der von Erdbeben ähnelt und nur schwach von Klima und Geologie abhängt. Im Gegensatz zu Erdbeben ist diese noch völlig unverstanden. Ähnliches gilt für Waldbrände. So stellt sich die Frage, ob es übergreifende Konzepte gibt, die diese anscheinend völlig verschiedenen Phänomene verbinden. Ein solches Konzept könnte die 1987 von Per Bak eingeführte Idee der selbstorganisierten Kritizität sein. Interessant ist hierbei, dass selbstorganisiert kritisches Verhalten bislang nur in numerischen Modellen gefunden wurde. In der Natur wird eine bestimmte Verteilung der Ereignisgrößen (die sogenannte Potenzgesetz-Verteilung) für ein bestimmtes Phänomen gefunden. Hieraus wird der Verdacht abgeleitet, dass das Phänomen selbstorganisiert kritisch sein könnte. Dann wird ein Modell aufgestellt, welches in seinen physikalischen Grundannahmen das Phänomen in irgendeiner Weise repräsentieren sollte und möglichst die Verteilung der Ereignisgrößen reproduzieren sollte. Ist dies erfolgreich, werden weitere Eigenschaften des Modells (speziell die zeitliche Charakteristik) untersucht, um zu erkennen, ob das Modell in das theoretische Konzept passt, und ob sich dann allgemeine Eigenschaften aus der Theorie auf das Phänomen übertragen lassen. In diesem Beispiel ist das numerische Prozessmodell also die essentielle Nahtstelle zwischen dem Phänomen und einem abstrakten theoretischen Konzept. Längerfristig ist zu hoffen, dass hieraus neue Wege der Kombination von historischen und prädiktiven Aspekten resultieren, denn der Einfluss der Vergangenheit in selbstorganisiert kritischen Systemen wird in der Physik, woher die Theorie stammt, bisher nicht betrachtet. Unter Aspekten der Umweltveränderung wird dies jedoch eine zentrale Frage für die Anwendung des Konzepts in den Geowissenschaften sein, von der starke neue Impulse zu erwarten sind.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Interaktion zwischen klassischen Geowissenschaften und Computational Earth Sciences entscheidend ist. Diese darf sich nicht auf einen Austausch von Daten beschränken, sondern muss bereits bei der Konzeption der Themen beginnen. Andernfalls besteht die Gefahr, dass Modelle entwickelt werden, die entweder keine geowissenschaftliche Relevanz haben oder nur das nachbilden, was ohnehin bekannt war, und dann könnte die Simulation tatsächlich zu einem (mehr oder weniger teuren) Computerspiel werden. Umgekehrt gibt es in den Geowissenschaften zahlreiche Phänomene, die in ihren Grundlagen noch so schlecht verstanden sind, dass eine Interpretation der Beobachtungen fast nur mit Hilfe von numerischen Simulationsmodellen möglich ist.