



M. Junas / DWD

Der neue SX-9 Superrechner von NEC berechnet die Wettervorhersagen des Deutschen Wetterdienstes DWD.

## Die Prognose aus dem Supercomputer

Meteorologen berechnen das Wetter der nächsten Tage mit Supercomputern. Die aufwendigen Modellrechnungen basieren auf den Grundlagen der Physik und berücksichtigen aktuelle Beobachtungs- und Messdaten.

Plötzlich ziehen dunkle Wolken auf – die lang geplante Grillparty fällt ins Wasser. Gerade dies wollten die Gastgeber vermeiden. Deshalb hatten sie mehrere Daten vorgesehen und erst am Vortag über die Durchführung entschieden. Die Wetterprognose sagte einen sonnigen, warmen Tag voraus. Von Gewitterneigung war keine Rede – weshalb die Fehlprognose? In diesem Fall ist die Erklärung einfach: Die numerischen Wettermodelle, auf die sich die Prognosen stützen, sind beschränkt in der Auflösung. Wenn der

Abstand zwischen zwei Berechnungspunkten 2 km beträgt, ist dies für ein Modell, das sich über den ganzen Alpenraum erstreckt, relativ engmaschig – eine Gewitterzelle von einem Kilometer Durchmesser kann jedoch nicht erfasst werden. Gewittervorhersagen einen Tag im Voraus sind daher nicht möglich.

Dieser Fall soll jedoch nicht über die Aussagekraft von numerischen Wettermodellen hinweg täuschen. Dank der Berechnungen im Computer hat sich die Trefferquote bei

Wetterprognosen deutlich verbessert. Die Modelle erfassen insbesondere das großräumige Wettergeschehen sehr umfassend, da sich die Vorgänge in der Atmosphäre mit Mathematik recht genau beschreiben lassen. Grundlagen sind die Erhaltungssätze der Physik: Energie, Impuls sowie Masse von Luft und Wasser bleiben in geschlossenen Systemen in der Zeit konstant. Daraus resultiert ein komplexes System von mathematischen Gleichungen, das jedoch analytisch nicht lösbar ist.

### Relativ enges Maschennetz

Ein wichtiges Mass für die Qualität der errechneten Daten ist die räumliche Auflösung eines Modells. Das abgedeckte Gebiet wird in ein dreidimensionales Gitternetz unterteilt. Je enger das Netz ist, umso detaillierter kann das Modell den Erdboden und die Atmosphäre erfassen, umso genauer werden lokale, kurzfristige Prognosen. Bei längerfristigen Prognosen hängt die Vorhersage auch vom Wettergeschehen in grösserer Entfernung ab. Für diesen Fall eignen sich Modelle mit grösseren Gitterkonstanten, die ein umfassendes Gebiet abdecken. In Europa stützen sich die meisten Wetterdienste auf das Modell des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersagen EZMW, das globale Vorhersagen für die gesamte Erdoberfläche mit Fristen von bis zu 15 Tagen erlaubt. Es arbeitet mit über 840 000 Gitterpunkten im Abstand von 16 km und 91 vertikalen Flächen. Für die lokalen Prognosen werden Modelle mit höherer Auflösung eingesetzt. Meteo Schweiz arbeitet mit COSMO, das in einer Kooperation mehrerer europäischer Länder laufend weiterentwickelt wird. COSMO-7 deckt West- und Mitteleuropa ab, umfasst knapp 8 Mio. Gitterpunkte im Abstand von 6,6 km und rechnet Prognosen bis zu drei Tagen. Noch höher aufgelöst ist COSMO-2. Das Modell enthält fast 11 Mio. Gitterpunkte in einer Maschenweite von 2,2 km und deckt den Alpenraum mit der Schweiz im Zentrum ab. Die Vorhersagen reichen bis 24 Stunden in die Zukunft.

### Immense Rechenleistung

Allein die Anzahl der Gitterpunkte – hinzu kommt die hohe Komplexität der Berechnungen – macht deutlich, welche Rechenleistung für die Erstellung von Prognosen benötigt wird. Bei COSMO-2 wird die zukünftige Entwicklung des Wetters für jeden Gitterpunkt in Zeitabständen von 20 s berechnet. Dies bedeutet  $10^{14}$  mathematische Operationen in 20 Minuten für eine 24-Stunden-Prognose. Ausgeführt werden sie auf einer Cray XT4 mit 260 Quad-Core-Prozessoren am Swiss National Supercomputing Centre der ETH Zürich in der Nähe von Lugano. Auch der neue Supercomputer des Deutschen Meteorologischen Rechenzentrums des DWD (Deutscher Wetterdienst) ist eindrücklich: Der Rechner füllt zwei Säle von je 1000 m<sup>2</sup> und ist mit 448 Prozessoren so leistungsfähig wie 30 000 handelsübliche PCs.

### Aktuelle Messdaten fliessen ein

Die Entwicklung des Wetters wird weitgehend vom Anfangszustand der Atmosphäre bestimmt. Rund um die Uhr werden von verschiedenen Erdbeobachtungssystemen wie Satelliten, Wetterstationen, Flugzeugen, Schiffen oder Wetterballons Daten gesammelt. Aufgrund dieser Informationen wird jedem Gitterpunkt eine Reihe von Werten wie Temperatur, Luftdruck und Wassergehalt zugewiesen. Bereits hier zeigt sich eine Schwierigkeit, die für Unsicherheiten sorgt: Die Wetterstationen und Messgeräte befinden sich in den seltensten Fällen exakt

am Ort des Gitterpunktes. Dies macht eine Interpolation der Werte nötig. Wenn die Daten im Umkreis eines Punktes ganz fehlen, greifen die Modelle auf frühere Prognosen zurück. Mit diesen Anfangsbedingungen wird der künftige Zustand der Atmosphäre für jeden Gitterpunkt berechnet. Dazu gehören zum Beispiel die Entwicklung von Tiefdruckgebieten, Schneefall oder Föhn. Die Berechnungen werden in regelmässigen Zeitabständen durchgeführt, bei COSMO-2 zum Beispiel alle drei Stunden. Um die Genauigkeit laufend zu steigern, fliessen bei jedem Berechnungsdurchgang aktuelle Beobachtungsdaten, Resultate aus vorhergehenden Durchläufen und klimatologischen Informationen mit ein. Während 24 Stunden verarbeitet COSMO-7 Informationen von etwa 120 Radiosondierungen, 8000 Flugzeugbeobachtungen, 28000 Stationsbeobachtungen und rund 1000 Wind-Profilern. COSMO-2 verarbeitet zusätzlich Informationen aus dem Regen-Radar, um konvektive Prozesse besser darstellen zu können.

### Wahrscheinlichkeit der Prognose

Trotz hoher Rechenleistung und relativer enger Gitternetze enthalten Wettervorhersagen immer Unsicherheiten. Der Anfangszustand der Atmosphäre ist nie exakt bekannt und die physikalischen Gleichungen lassen sich nur näherungsweise lösen. Viele physikalische Prozesse in der Atmosphäre oder am Boden, wie die Wolkenbildung vor einem Gewitter oder die Wechselwirkung zwischen Sonnenstrahlung und Wolkentröpfchen, finden auf so kleinen räumlichen Skalen statt, dass sie von den Modellen gar nicht erfasst werden können. Sie können lediglich mit Parametrisierungen näherungsweise modelliert werden. Zudem kann bereits eine kleine Veränderung der Ausgangsdaten grosse Auswirkungen auf den Verlauf des Wetters haben. Um die Unsicherheit einzuschätzen und die Bandbreite der möglichen Wetterentwicklungen zu erkennen, wird deshalb das so genannte Ensemble-Vorhersagesystem angewandt: Die Computerberechnungen werden für einen bestimmten Prognosezeitraum viele Male – beim EZMW 51-mal – wiederholt. Dabei werden die Anfangsbedingungen geringfügig verändert, um mögliche Ungenauigkeiten im Anfangszustand zu simulieren. Die Bandbreite der Resultate zeigt mögliche Szenarien wie Stürme und gibt Informationen über die Zuverlässigkeit der Computerprognose: Wenn alle Berechnungsdurchläufe eine ähnliche Prognose ergeben, deutet dies auf eine Wetterlage hin, die sich mit einer hohen Wahrscheinlichkeit voraussagen lässt. Weichen die Prognosen der einzelnen Durchgänge stark voneinander ab, ist die Wetterlage schwer vorhersagbar.



Der Superrechner CRAY XT4 am CSCS berechnet die Wettervorhersage des Modells von Meteo Schweiz.

(cr) ©