

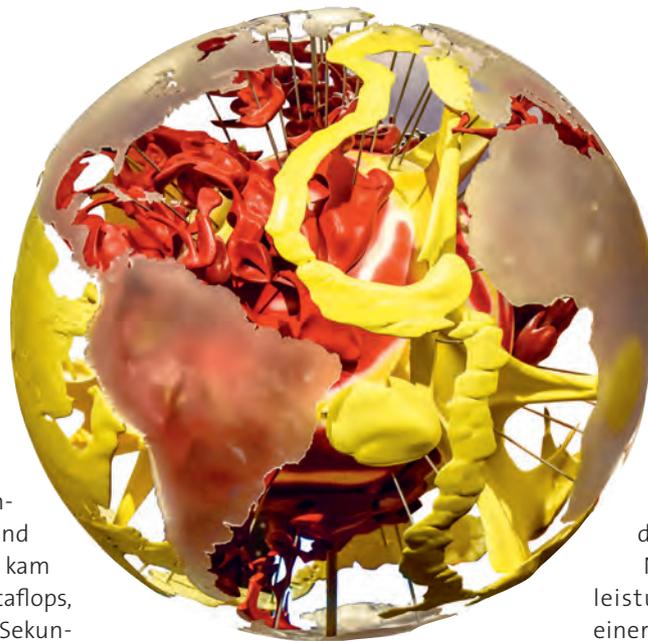
# Die Geheimnisse der Erde und des Weltalls entschlüsseln

SuperMUC-NG, der jüngste Supercomputer des Leibniz-Rechenzentrums, landete beim letzten Ranking auf Platz 8 der TOP500-Liste der schnellsten Rechner weltweit. Wozu **braucht die Wissenschaft** solche Höchstleistungsrechner? Zwei Beispiele aus der Geo- und Astrophysik.

Von **Michael Hülskötter**

**A**m 20. Juli 2012 war es endlich soweit: Im Garching Leibniz-Rechenzentrum bei München wurde der SuperMUC-Rechner der ersten Generation eingeweiht, ein Supercomputer, der schneller rechnen konnte als alles bis dahin in Deutschland Bekannte. Der „SuperMUC Phase 1“ kam auf eine Rechenleistung von 3,19 Petaflops, was  $10^{15}$  Rechenoperationen pro Sekunde entspricht. Drei Jahre später wurde ein etwa gleich starker Supercomputer namens „SuperMUC Phase 2“ eingeweiht, der noch bis Sommer 2019 laufen wird.

Dann, im Oktober 2018, war die dritte Generation des Garching Supercomputers an der Reihe, mit der ergänzenden Bezeichnung SuperMUC-NG, wobei „NG“ für „Next Generation“ steht. Ein Blick auf die Leistungsdaten zeigt, dass dieser Computer die Buchstaben NG zu Recht trägt: So kommt er auf eine maximale Rechenleistung von fast 27 Petaflops, liefert also eine



Dreidimensionale Darstellung von Erdströmen, berechnet vom Geophysikalischen Institut der LMU München auf SuperMUC, dem Höchstleistungsrechner des Leibniz-Rechenzentrums.

nahezu neunfache Leistungssteigerung im Vergleich zu seinen Vorgängern. Damit nimmt SuperMUC-NG auf der Liste der 500 schnellsten Supercomputer der Erde aktuell den achten Rang ein und ist der schnellste Rechner in der Europäischen Union.

Neben dieser enormen Rechenleistung wartet SuperMUC-NG mit einer weiteren Besonderheit auf, nämlich einer sogenannten Heißwasserkühlung, mit deren Hilfe das komplette System äußerst energieeffizient betrieben wird. Das geht sogar so weit, dass anliegende Gebäude und andere Einrichtungen des LRZ mit dem erhitzten Kühlwasser versorgt werden können. Damit ist SuperMUC-NG nicht nur extrem schnell, sondern auch extrem ressourcensparend. Das mehrfach preisgekrönte System der Heißwasserkühlung wandte das Leibniz-Rechenzentrum auch schon beim Vorgänger SuperMUC äußerst erfolgreich an.

### Ein Rechner für die Wissenschaft

Mit SuperMUC-NG richtet sich das Leibniz-Rechenzentrum in Garching grundsätzlich an alle wissenschaftlichen Einrichtungen in Deutschland, die aufgrund ihrer Forschungsarbeiten besondere Anforderungen an die erforderliche Rechnerumgebung stellen. Der Umgang mit dem Rechner ist anspruchsvoll. „Wir haben derzeit etwa 20 Benutzergruppen identifiziert, die uns helfen werden, den Einsatz und die Zuverlässigkeit des SuperMUC-NG besser einschätzen und verstehen zu können“, erklärt Dieter Kranzlmüller, der seit 2017 das LRZ leitet. So nutzt beispielsweise das Geophysikalische Institut der LMU München unter der Leitung von Hans-Peter Bunge den Supercomputer des LRZ schon eine ganze Weile für die Vermessung der Erde, ebenso die Astrophysiker um Andreas Burkert. Darüber hinaus stehen weitere Anwendungsbereiche im Fokus des SuperMUC-NG, etwa die Strömungsmechanik oder die Quantenchemie.

Zudem werden künftig die Themen Künstliche Intelligenz bzw. Maschinelles Lernen einen immer wichtigeren Teil bei den Berechnungen auf SuperMUC-NG einnehmen. So nutzt das Institut für Statistik von Bernd Bischl (LMU München) den LRZ-Supercomputer bereits seit einiger Zeit für aufwändige Berechnungen im Kontext von Machine Learning. „Ursprünglich wurde der SuperMUC-NG für das weite Feld der Künstlichen Intelligenz gar nicht konzipiert. Allerdings haben Versuche des Statistik-Lehrstuhls gezeigt, dass unser Supercomputer im Bereich KI schon mehr leistet, als zu erwarten war“, kommentiert Dieter Kranzlmüller die KI-Fähigkeiten des SuperMUC-NG. Diese und weitere Möglichkeiten bescherten SuperMUC-NG bereits in der Testphase eine hohe Aufmerksamkeit im In- und Ausland. Das liegt vor allem an dem breiten Anwendungsfeld, das der LRZ-Supercomputer abdeckt, was eine relativ schnelle Implementierung neuer Software-Anwendungen erlaubt. Voraussichtlich ab Sommer 2019 wird SuperMUC-NG im regulären Nutzerbetrieb laufen.

### Das Beispiel Geophysik: Vermessung der Erde

Betrachtet man die innere und äußere Beschaffenheit unseres Planeten genauer,

fällt vor allem eines auf: Stets hat man es mit sehr großen und sehr kleinen Maßeinheiten, also Skalen zu tun. Dazu gehört beispielsweise die sogenannte Kriechverformung, die permanent im Inneren der Erde stattfindet. So bezeichnet man Bewegungen, denen etwa die Wachstumsgeschwindigkeit unserer Fingernägel entspricht – sie liegen also im Zentimeterbereich pro Jahr. Dies betrifft unter anderem die sogenannten Konvektionsströme, die für eine permanente Veränderung der Erdoberfläche sorgen. Und genau diese Prozesse will die Geophysik mithilfe großer Rechner wie SuperMUC-NG begreifbar und damit verständlich machen.

Das Spezialgebiet, das hierfür die passende Grundlagenforschung betreibt, nennt sich Geodynamik und ist vergleichbar mit der Kosmologie. Das Interessante daran: Beide Fachbereiche machen sich ganz ähnliche mathematische Gleichungen zunutze, um die jeweiligen Geheimnisse zu entschlüsseln. Diese Parallelität ist für Hans-Peter Bunge von der LMU München ein wichtiger Aspekt: „Der Fachbereich der Geodynamik, den ich vertrete, ist dem der Kosmologie recht ähnlich. Denn so wie sich die Kollegen und Kolleginnen mit der Frage nach der Entwicklung des Universums beschäftigen, möchten wir wissen: Was passiert unter und über der Erdoberfläche, und was können wir daraus lernen? Und dabei hilft uns SuperMUC-NG ganz erheblich.“

In diesem Zusammenhang stoßen Wissenschaftler der Geo- und der Astrophysik auf eine ganz ähnliche Herausforderung, nämlich die Diskrepanz der Skalen. Konkret bedeutet das: Betrachtet man zwei Erdplatten, so existieren Grenzen zwischen ihnen, die sich mithilfe recht kleiner Maßstäbe im Kilometerbereich betrachten und berechnen lassen. Dies wiederum hat aber Auswirkungen auf das Gesamtkonstrukt – also unsere Erde –, was sehr viel größere Skalen erfordert, die sich um den Faktor  $10^{12}$  (= eine Billion, also eine Million mal eine Million) von den kleinen Skalen unterscheiden. Genau solche enormen Herausforderungen in den Berechnungen lassen sich mit der Unterstützung eines Großrechners wie SuperMUC-NG bewältigen.

Ein weiteres Problem, mit dem sich Forscher konfrontiert sehen, ist die tatsächliche Zeitdimension, mit der die geo-

**„Wir möchten wissen:  
Was passiert unter und über der Erdoberfläche, und was können wir daraus lernen?“**

physikalischen Aktivitäten innerhalb und außerhalb der Erde vonstattengehen. Auch hier hilft SuperMUC-NG erheblich: Mit seiner Unterstützung ist es laut Hans-Peter Bunge erstmals möglich, die tatsächlichen Geschwindigkeiten bei den geologischen Aktivitäten der Erde mess- und darstellbar zu machen. Dazu gehören zum einen die horizontalen Plattenbewegungen, die bei der Erdbebenforschung eine große Rolle spielen. Zum anderen bewegen sich die Erdschichten auch in vertikaler Richtung, was zum Beispiel zur Entstehung neuer Erdölreservoirs führt. Kein Wunder also, dass sich geologische Universitätsinstitute immer wieder mit Anfragen aus der Industrie konfrontiert sehen.



Simulation der heißen Plasmaatmosphäre (rot) eines Galaxienhaufens. Die in den Haufen fallenden Galaxien verlieren ihre gasförmige Atmosphäre (weiß), oft bilden sich kometenähnliche Gasschweife.

Der Pferdekopfnebel im Orion. Die detailreiche Aufnahme, kombiniert aus Bildern eines Teleskops, zeigt, dass die dunkle Einkerbung unter der Mitte zu einem Komplex aus Staub und leuchtendem Gas gehört.



Aber auch ein weiteres Phänomen bliebe ohne SuperMUC-NG unerforscht, fügt Hans-Peter Bunge hinzu: „Von der Spannungsverteilung innerhalb der Erde wüssten wir ohne den Supercomputer aus Garching bei Weitem nicht so viel, wie das aktuell der Fall ist. Und das ist vor allem für die Erbebenforschung und ähnliche Bereiche immens wichtig.“

SuperMUC-NG bietet also im Vergleich zu seinen Vorgängern zwei wesentliche Vorteile: mehr Speicher und mehr Rechenleistung. Bunge bilanziert: „Wir können größere Datenmengen direkt auf dem Supercomputer speichern, was für sehr exakte Berechnungen äußerst wichtig ist. Und die enorme Rechenleistung bietet uns viel mehr Möglichkeiten: Eine mathematische Berechnung für die Darstellung einer bestimmten geophysikalischen Aufgabe löste SuperMUC in etwa zwei Monaten, sein Nachfolger SuperMUC-NG braucht dafür nur etwa die Hälfte der Zeit.“

#### **Das Beispiel Astrophysik: Vermessung des Weltalls**

Die Simulation des Universums, mit dem sich Astrophysiker beschäftigen, ist ein weiterer Bereich, für den ein Supercomputer wie SuperMUC-NG gebaut wurde. Denn auch hier finden enorme Berechnungen statt, die auf herkömmlichen Computern gar nicht oder nur mit einem extremen Zeitaufwand möglich wären. So steht am Anfang meist eine Theorie, die von klugen Köpfen aufgestellt wird, dann aber auch bewiesen und möglichst anschaulich dargestellt werden soll. Hier gibt es eine große Herausforderung, wie der Astrophysiker Andreas Burkert von der LMU München erklärt: „Die Entstehung einer Galaxie lässt sich recht gut beobachten und auch theoretisch bestimmen. Da sich die zugehörigen Berechnungen aber nicht einfach mal eben mit Stift und Papier durchführen lassen, ist der Einsatz eines Supercomputers wie SuperMUC-NG mit seiner enormen Rechenleistung für uns und unsere Anwendungen unabdingbar.“

So besteht beispielsweise allein die Milchstraße aus Milliarden von Sternen, Planeten und anderen Himmelskörpern, die auf eine bestimmte Art und Weise miteinander verbunden sind. SuperMUC mit seinen rund 27 Petaflops kann diesen enormen Verbund numerisch berechnen.

## **Die Entstehung neuer Himmelskörper lässt sich so schneller und zuverlässiger voraussagen.**

Mit den Ergebnissen kann man beispielsweise die Frage nach der Entstehung unserer Sonne beantworten und davon ausgehend andere, etwa nach der Entstehung von Leben oder der Existenz von weiterem Leben innerhalb unserer Galaxis ableiten und beantworten. Wie in anderen Bereichen der Physik kommt der Rechner auch in der Astrophysik zum Einsatz, um große und kleine Skalen direkt miteinander zu verknüpfen und gleichzeitig zu rechnen.

Mit seiner deutlich erhöhten Speicherkapazität kann SuperMUC-NG die enormen Daten, die bei der Erforschung des Weltalls zustande kommen, umfassender speichern,

womit wiederum exaktere und schnellere Rechenergebnisse möglich sind. Dies führt am Ende dazu, dass man nicht nur bereits bestehende Galaxien berechnen, sondern die Entstehung neuer Himmelskörper schneller und zuverlässiger voraussagen kann. Auch hier sieht Andreas Burkert diverse Herausforderungen auf seinen Fachbereich zukommen: „Die Frage wird nicht unbedingt lauten: Wie viele Daten stehen mir zur Verfügung?, sondern eher: Wo sind die Daten, die für unsere Berechnungen wichtig sind, und wie komme ich schnell an sie heran? Aber auch die Analyse der Daten wird immer mehr im Vordergrund stehen.“

#### **Auf dem Weg ins Exascale-Neuland**

Mit SuperMUC-NG allein werden die künftigen Herausforderungen in Forschung und Lehre jedoch nicht zu bewältigen sein. Daher beschäftigt sich das LRZ unter Leitung von Dieter Kranzlmüller derzeit bereits mit der vierten Generation des SuperMUC, die 2021 an den Start gehen soll.

Und auf die vierte wird die fünfte Generation folgen, voraussichtlich ein sogenannter Exascale-Supercomputer: Er wäre in der Lage, eine Trillion Rechenoperationen pro Sekunde durchzuführen – eine unglaubliche Zahl mit 18 Nullen, also eine Million mal eine Million mal eine Million. Damit wird SuperMUC erstmals in Regionen vorstoßen, die heute noch gar nicht vorstellbar bzw. realisierbar sind. Auch hierfür sind laut Kranzlmüller die Planungen voll im Gange: „Für die Realisierung des geplanten Exascale-Supercomputers im Jahr 2024 reden wir bereits heute mit dem Bundesministerium und den zuständigen Staatsministern, denen wir unsere Pläne schon vorgestellt haben. Wir befinden uns auf einem guten Weg.“

---

#### **Michael Hülskötter**

arbeitet als freiberuflicher Journalist und Blogger. Sein Spezialgebiet ist die Informatik, er schreibt über Künstliche Intelligenz, Cloud Computing, Höchstleistungsrechnen oder das Internet der Dinge.

---