

# Green IT am Leibniz-Rechenzentrum

Spitzenrechner haben einen enormen Strombedarf. Beim neuen Höchstleistungsrechner SuperMUC wurde daher ganz besonders auf Energieeffizienz geachtet. Es entstand u. a. ein völlig neues, innovatives Kühlkonzept – das mit bis zu 55° C warmem Wasser funktioniert.

VON HERBERT HUBER UND AXEL AUWETER

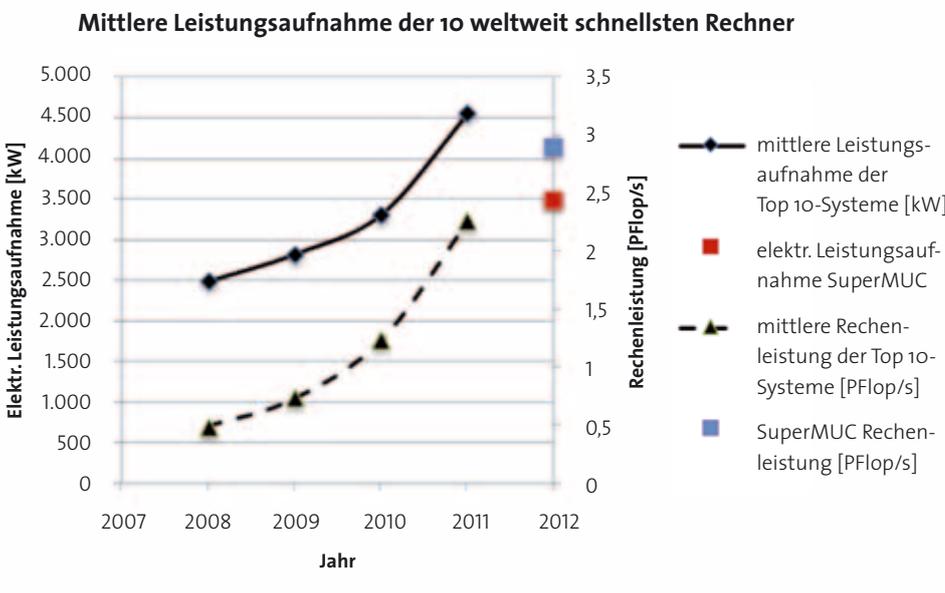
ABBILDUNG 1 ZEIGT den mittleren Strombedarf der zehn weltweit schnellsten Rechner laut TOP500-Liste (www.top500.org) seit dem Beginn der Aufzeichnung dieser Werte im Jahr 2008. Die Leistungsaufnahme von Hochleistungsrechnern der höchsten Leistungsklasse liegt derzeit im Bereich einiger Megawatt – mit stark steigender Tendenz. Bereits ab den Jahren 2018 bis 2020 sind Exascale-Rechner zu erwarten, also Hochleistungsrechner mit der Fähigkeit, jede Sekunde  $10^{18}$  Fließkommaberechnungen durchzuführen. Eine vom U.S. Department of Defense finanzierte Untersuchung schätzt die Energieaufnahme solcher Rechner auf mindestens 180 Megawatt.

## Zentrales Thema am Leibniz-Rechenzentrum: Green IT

**Abb. 1: Mittlere Leistungsaufnahme und mittlere Rechenleistung der zehn weltweit schnellsten Rechner laut TOP500-Liste.**

Aus Klimaschutzgründen und aufgrund steigender Energiepreise sind derartig hohe elektrische Anschlusswerte für zukünftige Hochleistungsrechner umweltpolitisch und wirtschaftlich

nicht mehr vertretbar. Ein zentrales Ziel der IT ist es daher seit einigen Jahren, die Energieeffizienz von Rechensystemen zu steigern. Diese Bestrebungen werden unter dem Begriff „Green IT“ zusammenfasst. Da neben den Rechner-, Datennetz- und Speicherkomponenten auch die Energieeffizienz der Kühlungs- und Klimatisierungsinfrastruktur den Energieverbrauch von Rechenzentren maßgeblich mitbestimmt, ist ein holistisches Verfahren nötig, um die Energieeffizienz der gesamten Rechenzentrumsinfrastruktur zu optimieren.



Green IT ist seit mehr als sechs Jahren ein wichtiges Thema am Leibniz-Rechenzentrum und wurde in den letzten Jahren zu einem der zentralen Forschungsschwerpunkte im Umfeld des IT-Betriebs.

## Grundlagen für energieeffizientes Hochleistungsrechnen

Für energieeffizientes Hochleistungsrechnen sind die folgenden drei tragenden Säulen der energieeffizienten Datenverarbeitung zu berücksichtigen:





1. die Beschaffung von energieeffizienter Rechnerhardware,
2. die Verwendung von energieeffizienter Software,
3. der Betrieb des Datenverarbeitungssystems in einer energieeffizienten Rechenzentrumsinfrastruktur mit detaillierter Überwachung des Energieverbrauchs und der Anwendungsleistung.

### Energieeffiziente Rechnerhardware

Im Zyklus von etwa 18 bis 20 Monaten verdoppelt sich die Leistung neuer Computerchips durch die Verdoppelung der Schaltkreiskomponenten auf dem Computerchip (Moo-

resches Gesetz). Neue Prozessoren können dadurch entweder bei gleicher Leistungsaufnahme doppelt so schnell oder bei halbem Energiebedarf gleich schnell rechnen. Dass dieser erstmals von Gordon Moore im Jahre 1965 formulierte Trend auch für aktuelle Prozessorchips, Hauptspeicherkomponenten und Hochleistungsrechner zutrifft, zeigen die in Abbildung 1 dargestellten Kurven für die mittlere Leistungsaufnahme und Rechenleistung der zehn weltweit schnellsten Rechner in den letzten Jahren. Während die Leistungsaufnahme dieser Systeme von 2008 bis 2011 im Mittel um den Faktor 1,8 angestiegen ist, hat sich ihre Rechenleistung im selben Zeitraum im Mittel um den Faktor 4,7 erhöht. Durch die weltweit steigende Nachfrage an besonders energieeffizienten Systemlösungen (beispielsweise für Smartphones, Laptops, kommerzielle Server-Farmen und Hochleistungsrechner) sind alle Prozessorhersteller dazu übergegangen, zusätzliche Energiesparmechanismen wie z. B. das automatische Abschalten nicht benutzter Rechenkerne in neue Prozessorgenerationen zu integrieren bzw. Taktfrequenzen der Prozessoren dynamisch gemäß der Rechenlast anzupassen.

Die Leistungsaufnahme des europäischen Höchstleistungsrechners SuperMUC am Leibniz-Rechenzentrum ist mit einem roten Quadrat in Abbildung 1 markiert. Durch die Verwendung neuester, höchst energieeffizienter Prozessor- und Hauptspeichertechnologien sowie einer neuen, besonders effizienten Kühltechnik wird

SuperMUC weltweit auch einen herausragenden Platz einnehmen, was die Energie- und Kühlungseffizienz angeht.

### Energieeffiziente Softwareumgebung

Für einen höchst energieeffizienten Betrieb von Hochleistungsrechnern muss den in Hardware implementierten Energiesparmechanismen eine unter dem Gesichtspunkt Energieeffizienz optimierte Systemsoftwareumgebung zur Seite gestellt werden. Hierzu müssen z. B. in Parallelrechnern die in aktuellen Betriebssystemen mitgelieferten Energiesparmechanismen über viele Rechnerinstanzen und Rechenkerne hinweg koordiniert werden. Das Leibniz-Rechenzentrum entwickelt deshalb zusammen mit IBM eine Systemmanagement-Software, um diese neuen Energiesparmechanismen gezielt auf Hochleistungsrechnern einzusetzen. Abbildung 3 zeigt beispielsweise den Energieverbrauch eines 40-fach parallelen SeisSol-Simulationslaufes ([www.geophysik.uni-muenchen.de/~kaeser/SeisSol/](http://www.geophysik.uni-muenchen.de/~kaeser/SeisSol/)) zur Ausbreitung von seismischen Wellen in Abhängigkeit von der auf dem Rechenknoten eingestellten Prozessorfrequenz. Für dieses Beispiel ist klar zu erkennen, dass bei einer eingestellten Prozessorfrequenz von 2 GHz die für einen Simulationslauf – entsprechend einem Ergebnis – benötigte Energie minimiert wird.

### Energie- und kühlungseffiziente Infrastruktur: innovative Warmwasserkühlung

Zum Energieverbrauch der Netzkomponenten, Rechen- und Speichersysteme addiert sich noch die elektrische Leistung, die man zur Kühlung

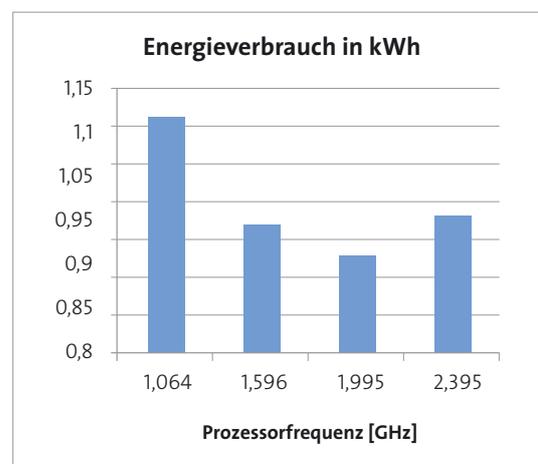
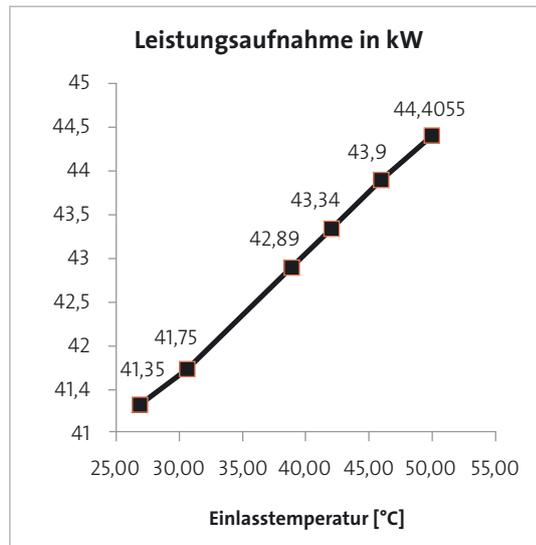


Abb. 2: Warmwasserkühlinfrastruktur (Pumpen, Sammler und Verteiler).

Abb. 3: Für einen 40-fach parallelen SeisSol-Erdbebensimulationslauf benötigte elektrische Energie in Abhängigkeit von der Prozessorfrequenz.

**Abb. 4:** Leistungsaufnahme des direkt mit warmem Wasser gekühlten CoolMUC-Clusters in Abhängigkeit von der Wasser-eingangstemperatur.



dieser Systeme benötigt. Für moderne Rechenzentren liegt dieser Kühlungsaufschlag derzeit bei etwa 30 % bis 50 % der Energieaufnahme der darin betriebenen IT-Geräte. Maßgebliches Ziel bei allen Infrastrukturplanungen zur LRZ-Erweiterung war es deshalb, den Kühlungsaufschlag für die IT-Systeme zu minimieren.

Im Zuge der Erweiterung wurde daher ein zusätzlicher Kühlkreislauf für die direkte Kühlung von CMOS-Rechnerkomponenten wie z. B. Prozessor, Hauptspeicher, Chipsatz usw. mit bis zu 55° C warmem Wasser installiert. Dieser so genannte Warmwasserkühlkreislauf besitzt eine Kühlleistung von 8 Megawatt und wird derzeit maßgeblich für die Kühlung der Hochleistungsrechner SuperMUC und CoolMUC verwendet. Die direkte Warmwasserkühlung von Rechensystemen bietet folgende wesentlichen Vorteile gegenüber herkömmlichen Kühltechniken:

- Die Rechner können ganzjährig mit rein freier Kühlung, d. h. ohne den Einsatz von Kältemaschinen, betrieben werden. Der Energieaufschlag für die Kühlung der Systeme liegt daher im Bereich von nur 10 %.
- Die Abwärme der IT-Systeme kann in der kalten Jahreszeit verwendet werden, um Gebäude zu heizen.

#### DIE AUTOREN

*Axel Auweter ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Gruppe HPC Server und Dienste, Dr. Herbert Huber leitet die Abteilung Hochleistungssysteme am Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.*

- Durch die hohe Kühlungseffizienz liegt die Leistungsaufnahme von Rechensystemen bis zu Wassereinlasstemperaturen von 60° C unter der Leistungsaufnahme von Systemen, die mit 20° C kühler Luft gekühlt werden. Das System hat also eine bessere Energieeffizienz.
- In der warmen Jahreszeit kann die Rechnerabwärme mittels so genannter Adsorptionskältemaschinen genutzt werden, um Prozesskälte zu erzeugen.

Abbildung 4 zeigt die Leistungsaufnahme des direkt mit warmem Wasser gekühlten CoolMUC-Hochleistungsrechners bei unterschiedlichen Einlasswassertemperaturen. Im Bereich von 27° C bis 50°C steigt bei gleicher Last die Leistungsaufnahme des Systems um etwa 5 %. Dieser Leistungsanstieg wird durch mit der Betriebstemperatur anwachsende Leckströme der CMOS-Komponenten im Rechner verursacht. Für eine Maximierung der SuperMUC-Energieeffizienz und zur weiteren Reduktion der CO<sub>2</sub>-Bilanz des Leibniz-Rechenzentrums wird das Rechensystem deshalb – wann immer durch rein freie Kühlung möglich – mit möglichst niedrigen Warmwassertemperaturen im Bereich von ca. 25° C auf der Einlassseite betrieben.

Durch den Einsatz der innovativen Warmwasserkühltechnologie im SuperMUC sowie der Nutzung der Rechnerabwärme zur Gebäudeheizung übernimmt das Leibniz-Rechenzentrum eine weltweit führende Rolle im Bereich des energie- und kühlungseffizienten Hochleistungsrechnens. Gleichzeitig wird dadurch die CO<sub>2</sub>-Bilanz des LRZ erheblich verbessert, und pro Jahr lassen sich etwa 850.000 Euro an Energiekosten einsparen.

