



Foto: Kai Hamann; produced by gsiCom

Wie wird ein schneller Computer noch leistungsfähiger? Mit einer Revolution auf einem kleinen Teil des Geräts. Neue Rechner arbeiten mit mehr als zwei Prozessoren auf einem Chip. Doch heutige Programme können das Potenzial dieser sogenannten „Multicore-Architekturen“ nicht ausschöpfen. Ein TUM-Professor sucht die Lösung

Der Mensch sitzt am Computer, telefoniert nebenbei, tippt und beobachtet gelegentlich die Arbeitsschritte seiner Kollegen. Viele Aktionen gleichzeitig – das kann nicht nur der Mensch, auch der Computer sollte in der Lage sein, möglichst viele Aktionen gleichzeitig auszuführen.

Für immer komplexer werdende Aufgaben und Operationen benötigen die Geräte eine hohe und zuverlässige Prozessorenleistung. So können die Funktionen in Heimcomputern, Laptops, Navigationsgeräten oder Handys vielfältiger werden. Auch Spielekonsolen profitieren von immer leistungsfähigeren Chips: Statt grober Comicbilder erschaffen aktuelle Geräte fotorealistische Welten. „Lange Zeit war die Strategie der Prozessorenhersteller, die Arbeitsgeschwindigkeiten der Transistoren durch die Taktung der Prozessoren zu erhöhen“, erklärt Arndt Bode, Professor für Rechnerorganisation und Rechnertechnik an der Technischen Universität München. Die Taktfrequenz, gemessen in Megahertz, war für die Hersteller die Zahl des Erfolges – und diese steigerte sich exponentiell. Computerprogramme mussten für diese Entwicklung nicht neu geschrieben werden. Wurde der Prozessor schneller, konnte das Programm

weiterhin seine Abläufe in Sekundenbruchteilen, aber hintereinander abwickeln. Über Jahrzehnte konnten auf diese Weise alle eineinhalb Jahre nicht nur Supercomputer, sondern auch Heimcomputer mit doppelt so hoch getakteten Prozessoren ausgestattet werden.

Höher, schneller, weiter – das geht nicht mehr

Die Größe der Chips nahm dabei nur leicht zu: Heute haben die größten Chips eine Oberfläche von gerade mal 2,25 Quadratzentimetern – etwa so viel wie vier Daumennägel. Doch jetzt stoßen die Chip-Produzenten an technische Grenzen. Seit etwa fünf Jahren, so sagt der 58-jährige Bode, zeichne sich ab, dass ein weiterer Anstieg der Taktfrequenzen nicht mehr möglich ist. Denn die Transistoren in den Prozessoren können nicht mehr höher getaktet werden: Je höher die Megahertzzahl, desto höher die benötigte Spannung auf dem Mikrochip. Daraus entsteht Wärme, die schnell vom Chip weggeführt werden muss, denn die empfindliche Struktur des Prozessors zerstört sich ab einer gewissen Temperatur von selbst.

Doch sogar Luft- und Wasserkühlungen konnten die Schmelze der Chips auf Dauer nicht verhindern. Spätestens zu diesem Zeitpunkt war klar, dass mit dem bisher



Parallel geht's schnell

Der neue Bundeshöchstleistungsrechner (HLRBII) am LRZ in Garching beeindruckt mit enormem Leistungspotenzial: Der auf einer Silicon Graphics Inc. (SGI) ALTIX 4700 Plattform basierende Supercomputer arbeitet parallel mit 4864 Intel Itanium Dual Core Prozessoren, erreicht eine andauernde Geschwindigkeit von 56.5 TFlop/s, verfügt über einen Arbeitsspeicher von insgesamt 39 TByte und über 600 TByte Festplattenspeicher. Seine Grundfläche beträgt 24 m x 12 m, sein Gewicht 103 Tonnen. Er ist der derzeit zehntschnellste Rechner der Welt

gültigen Motto – „höher, schneller, weiter“ – kein Fortschritt erzielt werden konnte. Die neue Idee der Hersteller: Wir müssen die Prozessoren auf den Chips vervielfachen. Während der bisherige Mikrochip im üblichen Computer mit einem Kern alle Aufgaben schnellstmöglich hintereinander abarbeitet, erledigen nun mindestens zwei oder mehr Kerne diese Aufgaben gleichzeitig. Daraus erklärt sich der Begriff „Multicore“: „Multi“ steht für die fast schon beliebige Anzahl von „cores“. Dieser Terminus leitet sich aus dem Wort „processor“ ab, welches den Einzelprozessor auf einem Chip beschreibt. In wissenschaftlichen Texten oder Veröffentlichungen von Herstellern hat sich noch keine genaue Begrifflichkeit niedergeschlagen. „Man findet viele Begriffe, die das Gleiche meinen. Ich würde so einen Mikrochip als ‚Multicore-Architektur‘ bezeichnen“, sagt Bode.

80 Chips auf einem Prozessor

Damit sich die Transistoren auf dem Mehrfachkern-Mikrochip nicht zu sehr erhitzen, ist die Taktfrequenz auf dem einzelnen Kern leicht reduziert. Rein rechnerisch aber wird die Leistung des Computers doppelt so groß, weil mindestens zwei Prozessoren arbeiten. „Es gibt auch Labor-Architekturen, auf denen schon über 80

Prozessoren auf einen Mikrochip gebaut werden“, erzählt Bode. Der Vizepräsident der TU München prophezeit, dass bis 2015 mehr als 128 Prozessoren auf einem Multicore-Chip Platz finden.

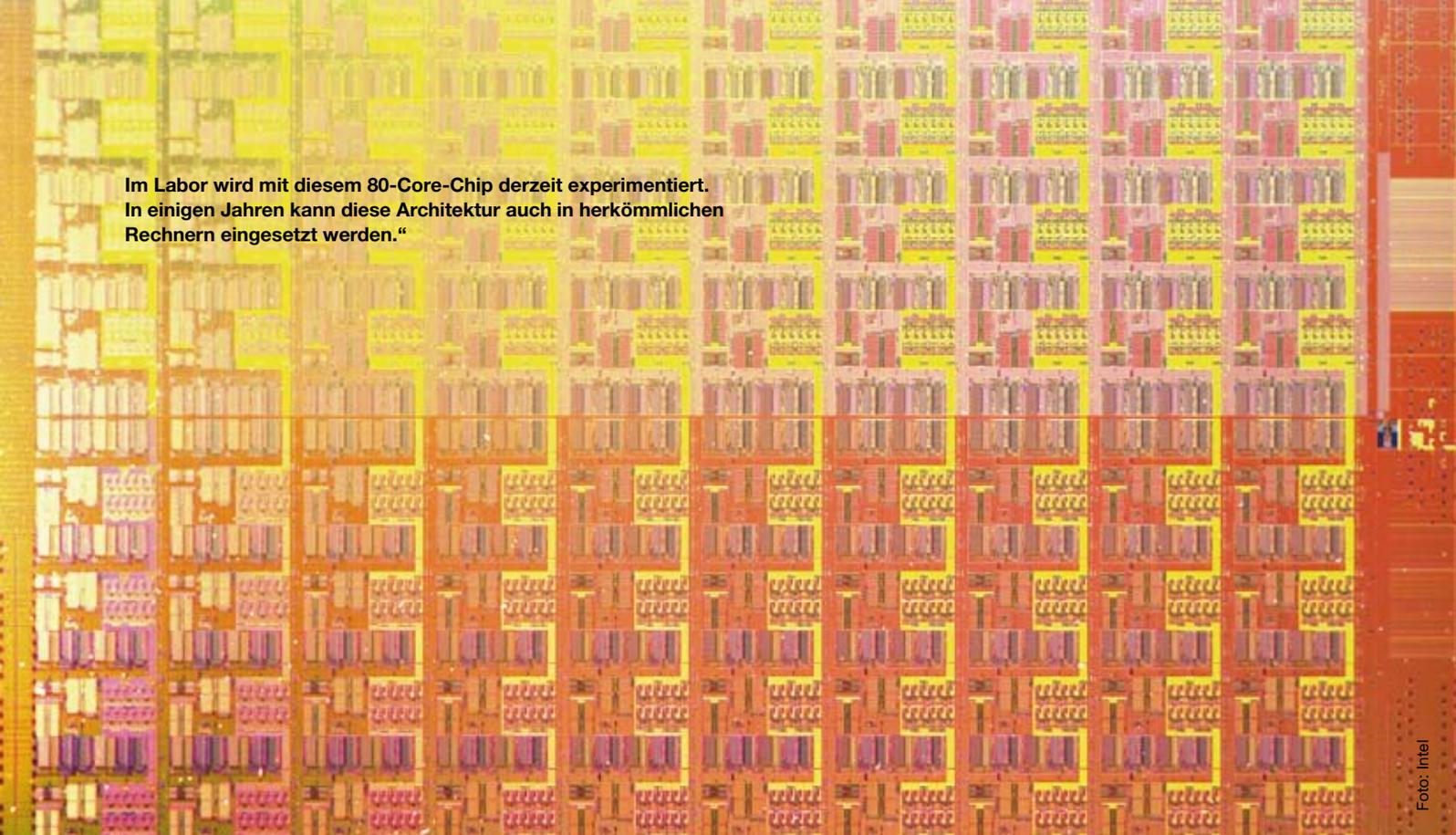
Das Problem: Die Software kommt nicht mit

Wirklich weit entfernt davon ist man heute nicht mehr. Zum Beispiel ist die aktuelle Spielekonsole von Sony, die „Playstation 3“, mit einem Chip von IBM ausgestattet, der mit neun parallel arbeitenden Prozessoren arbeitet. Auch einige Laptops und Computer haben heute

Link
www.lrr.in.tum.de

zwei oder vier Rechenkerne. Selbst auf Handys sollen in Zukunft mehrere Kerne gleichzeitig arbeiten, Ähnliches gilt für das ABS-System im Auto.

Die Entwicklung hört sich schön und gut an. Doch sie hat einen bedeutenden Haken: Heutige Computerprogramme können die neue, verdoppelte Rechner- ▶



Im Labor wird mit diesem 80-Core-Chip derzeit experimentiert. In einigen Jahren kann diese Architektur auch in herkömmlichen Rechnern eingesetzt werden.“

leistung mit mindestens zwei Prozessoren nicht bestmöglich ausnutzen. Die Arbeitsschritte in den neuen Mehrkernprozessoren verlaufen parallel, die bisherigen Programme denken in eindimensionalen Arbeitskettens. Damit nutzen sie nur einen der vielen Kerne aus.

Daher wäre es ideal, wenn der Prozessor auf die Programme nicht nacheinander, sondern gleichzeitig zugreifen könnte. Dieses Umdenken wäre fundamental für die Forschung. „Das ist ein Bruch in der Computerentwicklung“, sagt Bode. Dieser Bruch ist ein Grund dafür, warum er die Münchner Multicore-Initiative 2006 am Institut für Informatik gegründet hat.

Nun kann sich Bode zwei Entwicklungen vorstellen: Da Mehrkernsysteme eine parallele Programmiersprache benötigen, muss die Sprache der aktuellen Programme neu erfunden werden. Dahinter steckt ein ganz neues Gedankengerüst, das für normale Heimcomputer, Handys, Spielekonsolen und Digitalkameras noch nicht angewendet worden ist. „Man kennt zwar parallele Programmiersprachen schon von den Supercomputern. Doch die müssen nun auf Multicore-Prozessoren für reguläre Anwendungen eingesetzt werden“, erklärt Bode.

Bode kann sich auch vorstellen, dass die alten Programme beibehalten und durch automatisch parallelisierende Software ergänzt werden. Diese würde alte Programme in der Zusammenarbeit mit den schnellen Prozessoren unterstützen. Unsichtbar für Nutzer und Programmierer arbeiten sie im Hintergrund. Vorteil: Es

müssten nicht sämtliche Programme in eine neue Sprache übersetzt werden. Nachteil: Der automatische Parallelisierer erkennt nicht alle Optimierungsmöglichkeiten, die die neue Konstellation von Hardware und Software bietet.

Diese Entwicklung der Prozessoren zieht ein weiteres Problem im Innenleben eines Rechners nach sich. Ganz gleich ob Handy, Spielekonsole oder Heimcomputer, alle Geräte benötigen einen Speicher, auf dem Programme und Dateien gelagert sind. Darauf greift der Prozessor zu und verarbeitet die Daten – in einer so hohen Geschwindigkeit, dass die Rechnerleistung auch stark von der Geschwindigkeit des Arbeitsspeicher-Moduls abhängt. Durch Multicore-Architekturen müssen nun auch Speicherplätze so angelegt werden, dass Programme parallel auf den Arbeitsspeicher zugreifen können. „Man kann sich das in heutigen Rechnern wie einen Flaschenhals vorstellen, durch den alle Daten gleichzeitig durchmüssen“, erläutert Bode. Der wird nun ziemlich eng. „Wir müssen daran arbeiten, den Hals zu erweitern.“ Diese Beinahe-Revolution ist für Bode aus unerklärlichen Gründen von der Computerindustrie verschlafen worden. Inzwischen aber sind die Hardware- und Prozessorenhersteller, allen voran die amerikanischen Konzerne IBM und Intel, aufgewacht und sehr am Wissen der Universitäten interessiert.

Daher will Bode in seiner Forschung an der TU München am Institut für Informatik die Entwicklung in den

Das Moore'sche Gesetz

Seit 40 Jahren ist das einflussreichste Gesetz in der Informatik eine Faustregel:
 Die von Gordon Moore aufgeschriebene Beobachtung, dass sich in integrierten Schaltkreisen die Komplexität alle zwei Jahre verdoppelt, wurde zum Arbeitsgesetz für alle nachfolgenden Computerchiphersteller. Unter Komplexität auf den Chips verstand Moore die Anzahl der Schaltkreiskomponenten, die einen Chip – und damit den ganzen Computer – zum Laufen bringen. Diese empirische Beobachtung von Moore ist eine der Grundlagen für die digitale Revolution.

Doch als ein wirkliches wissenschaftliches Gesetz können die Beobachtungen von Moore nicht gesehen werden. Moores Idee wurde nach und nach neu ausgelegt und – je nach Aussage – bis zur Unkenntlichkeit verändert. Nun meint man beim Moore'schen Gesetz nicht mehr nur die Zahl der Komponenten in integrierten Schaltkreisen, sondern die Transistorenzahl in diesen. Einige verstehen darunter die Transistorenzahl pro Flächeneinheit. Eine weitere Auslegung ist die Zahl der Monate, in denen die Chipgeschwindigkeit verdoppelt werden kann: 12, 18 oder 24 Monate. Bisher bestätigen die Prozessorhersteller allerdings das Gesetz und konnten alle zwei Jahre doppelt so leistungsfähige Prozessoren wie vorher entwickeln.

Architekturen und Programmiermodellen im Auge behalten. In der Lehre sollen Veranstaltungen zur parallelen Programmierung im Mittelpunkt stehen. Denn die Universitäten sind in Bodes Augen diejenigen, die die neuen Sprachen entwickeln könnten. Die Hardwareproduzenten können das in Bodes Augen nicht allein stemmen. „Die Angst der großen Prozessorenhersteller ist, dass die Softwareindustrie die Entwicklung auf Dauer verpasst“, so Bode, „und sie so die Prozessoren nicht weiter ausbauen können.“ Aber zum Glück gibt es da ja noch die Forschung.

Rebecca Beerheide

Die Geschwindigkeit der schnellsten Rechner entwickelt sich, ähnlich wie die Komplexität der Prozessoren und ihre Geschwindigkeit, exponentiell. Der schnellste Rechner der Welt hat über 130.000 Prozessorkerne und erreicht damit ca. 280 TFlop/s. Moderne Höchstleistungsrechner bedienen sich dabei alle paralleler Prozessorpower. Auch in Personal Computern soll die Leistung parallel arbeitender Prozessorkerne, zusammen mit optimierter Software, für einen Leistungsschub sorgen

Gratik: edlundsepp

