

Green Computing – ein neues Forschungsthema der Informatik

Bei der Planung von Rechneranschaffungen gehen Analysten heute davon aus, dass auf jeden Euro, der für Hardware investiert wird, 50 Cent Energiekosten im späteren Betrieb anfallen. „Wegen der stark steigenden Energiepreise wird der Energieanteil sich in den nächsten zwei Jahren auf 70 Cent erhöhen und 2012 mit einem Euro sogar mit den Anschaffungskosten gleichziehen“ (Computerwoche, 27. Okt. 2008). Andere Betrachtungen kommen zu ähnlichen Schlussfolgerungen. Wenn ein Rechnernutzer die Betriebskosten für direkten Energieverbrauch, Kühlung, ununterbrechbare Stromversorgung und deren Wartung in seine Kalkulation einbezieht, sind ein Euro pro Watt (Nennleistung) und Jahr eine realistische Approximation. Beispielsweise benötigt ein SATA-Plattenlaufwerk während des Betriebs etwa 12 Watt und verursacht deshalb etwa 12 Euro pro Jahr an Betriebskosten. Das bedeutet, dass bei einer Betriebszeit von 3 – 5 Jahren die Energiekosten etwa den Anschaffungskosten entsprechen. Betreiber großer Rechenzentren oder „Rechner- und Plattenfarmen“ haben bereits auf diese Kostenbelastung reagiert. So wurden neue Datenzentren großer Internet-Firmen in der Nähe von Standorten preiswerter Energieerzeugung und verfügbarer Wasserreserven für Kühlung errichtet: Beispielsweise betreiben Google in The Dalles, Oregon sowie Yahoo und Microsoft in Quincy, Washington Datenzentren in der Nähe des Columbia River und hydroelektrischer Staudämme.

Nicht zuletzt durch die öffentliche Debatte um CO₂-Einsparung und Erderwärmung angestoßen, hat die Informatik mit vielfältigen Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen zur aktiven Energieeinsparung und effizienten Energienutzung reagiert. Unter dem Schlagwort „Green Computing“ oder „Thermal Management“ kristallisierten sich inzwischen breit gefächerte Forschungsthemen heraus, welche die Energieeffizienz bei Rechneranwendungen ganzheitlich lösen wollen. Das beginnt zunächst auf der Hardwareebene, wo Optimierungen bei Materialien, Schaltkreisen, Geräten, Prozessorkernen und -chips simultan vorangetrieben werden. Hier wurde beispielsweise erkannt, dass das Moore'sche Gesetz (Verdopplung der Rechnerleistung oder Halbierung der Chipfläche pro Transistor innerhalb von 18 Monaten) nicht mehr uneingeschränkt (für einen Rechnerkern) gilt. Zwar kann die Miniaturisierung noch eine Reihe von Jahren fortgesetzt werden, die Rechengeschwindigkeit eines Kerns muss jedoch aus Gründen des überproportional steigenden Energie- und Kühlungsbedarfs beschränkt werden (auf < 5 GHz Taktfrequenz). Das führt dazu, dass auf einem Chip mehrere (viele) Rechnerkerne angesiedelt werden können, die alle mit < 5 GHz betrieben werden. Die Herausforderung solcher Multi-Core-Architekturen ist es nun, deren Leistung durch „parallele Programmierung“ einer Anwendung ohne allzu große „Reibungsverluste“ verfügbar zu machen.

Auch Architektur und Abläufe auf höheren Systemebenen werden zunehmend bestimmt von den oben genannten Zielen. Überlegungen zur Systemarchitektur schließen Maßnahmen zur energieeffizienten Speicherung der Daten auf Externspeichern ein, wobei die Systemsoftware durch energieoptimale Algorithmen den gesamten Energieverbrauch einschließlich der Kühlung minimieren soll. Das in den letzten Jahren realisierte Konzept der Virtualisierung aller Systemressourcen kann dieses Ziel in erheblicher Weise unterstützen. So lassen sich schon bei der Planung viele schlecht genutzte Server-Rechner einsparen, da die Virtualisierung allen Anwendungen bei gleichen Leistungsvorgaben eine gemeinsame Nutzung von weit weniger Servern gestattet. So konnten beispielsweise in von uns beratend begleiteten regionalen Projekten in einem Falle 80 Server auf 5 Server und in einem anderen Falle 30 Server auf 4 Server durch den Einsatz von Virtualisierungstechniken reduziert werden. Andererseits kann die Virtualisierung dazu dienen, je nach Lastanfall die Anzahl der benötigten Server-Rechner zu- oder abzuschalten. So kann es beispielsweise erforderlich sein, die Tageslast auf 5 Servern abzuwickeln, während in lastschwachen Zeiten ein Server genügt. Selbst auf der Ebene komplexer, verteilter Anwendungen ist Energieeinsparung ein wichtiges Thema. So werden beispielsweise Lieferketten (Supply Chains) bei der Software-Firma SAP mit dem Ziel der Minimierung des „Carbon Footprint“ optimiert (Computer Zeitung, Sept. 2008).

Zur Ausschöpfung des gesamten Energiesparpotenzials ist es jedoch erforderlich zu untersuchen, welche Optimierungsmöglichkeiten sich bei wichtigen Anwendungen wie beispielsweise im Bereich der Datenbanken und Informationssysteme ergeben. Den Stellenwert und das Einsparpotential energieoptimierter Datenverarbeitung und -speicherung kann man am Beispiel von Google erkennen: diese Internet-Firma betreibt für ihre populären und vielgenutzten Dienste wie beispielsweise Internet-Suche, Gmail, Google Earth oder Google Map insgesamt mehr als eine Million Server-Rechner und die entsprechenden Speicher (Gartner Report, Juli 2007, <http://www.pandia.com/sew/481-gartner.html>). Offensichtlich kann hier eine „energiebewußte“ Speicherung und Verarbeitung enorme Einsparungen erbringen.



Bei großen Datenbanken, die heute typischerweise den Einsatz großer „Magnetplattenfarmen“ erfordern, liegt das Hauptaugenmerk naturgemäß bei der Speicherung, Verwaltung und Aktualisierung permanenter Daten. Der sogenannte Flash-Speicher (auch NAND Flash Disk oder Solid State Disk genannt) wird in vielen mobilen Geräten (Digitalkameras, PDAs, Taschen-PCs usw.) zur permanenten Datenhaltung verwendet, weil er klein, leichtgewichtig, geräuschlos, stoßfest und nicht zuletzt energieeffizient ist. Im Vergleich zu Magnetplatten benötigt er im Betrieb zehnmal weniger und im Idle-Zustand keine Energie. Deshalb bietet sich die Frage an, ob und wie die Integration von Flash-Speichern in Datenbanksystemen mit dem Ziel erreicht werden kann, die herkömmlichen Magnetplatten (teilweise) zu ersetzen. In einem großen, von der DFG geförderten Forschungsprojekt hat die AG Datenbanken und Informationssysteme (DBIS) begonnen, diese Frage zu klären. Gegenüber der konventionellen Technik müssen insbesondere alle Aspekte der persistenten Datenverwaltung kritisch überprüft werden. Dabei ist die Reduktion der Ein-/Ausgabe, vor allem von Schreibvorgängen, enorm wichtig, was Datenkompression und/oder neuartige Algorithmen bei der DB-Pufferverwaltung erfordert. Aber auch Maßnahmen zur optimierten Speicherung von Objekten und zur Transaktionsverwaltung müssen einbezogen werden, da die Reduktion des Speicherbedarfs oft automatisch eine Reduktion der Ein-/Ausgabe und des Vorsorgeaufwands für den Fehlerfall (Logging) mit sich bringt. Außerdem sind Blockierungen der DB-Verarbeitung und durch Abbruch erzwungene Transaktionswiederholungen „energieschädlich“. Eine Index-zentrierte Verarbeitung, die, wann immer möglich, Ein-/Ausgabe-intensives Durchmustern großer Datenbestände vermeidet, kann beträchtliche Beiträge zur Einsparung von Energie während des Betriebs liefern. Dieses Bündel von abgestimmten Maßnahmen muss bei der Anfrageverarbeitung effektiv genutzt werden, was bei der Anfrageoptimierung neue Kostenmodelle impliziert und zu energieeffizienten Ausführungsplänen (als Optimierungskriterium) führen soll. Natürlich werden solche Maßnahmen in der Praxis nur akzeptiert, wenn die bewährten Eigenschaften Magnetplatten-basierter Datenbanken wie Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit (Antwortzeit und Durchsatz von Transaktionen), Verfügbarkeit, Preis usw. gewährleistet bleiben.

Theo Härder, AG DBIS