Revitalisierung der akademischen Großrechnerausbildung

Wilhelm G. Spruth
Wolfgang Rosenstiel

Einführung

Wir unterscheiden zwischen Parallelrechnern für hohe Rechenleistung und Großrechnern (engl.: Mainframe) [31] für den betriebswirtschaftlichen Einsatz.

Parallelrechner für maximale Rechenleistung werden heute häufig aus den gleichen oder ähnlichen Hardware- und Softwarekomponenten zusammengebaut, die auch für Low-End-Server, Arbeitsplatzrechner und Personal Computer eingesetzt werden (Commercial Parts). Die in Industrie, Handel und Verwaltung eingesetzten Großrechner setzen dagegen spezifisch für diesen Anwendungszweck entwickelte Software- und Hardwaretechnologien ein. Diese Tatsache stößt im akademischen Umfeld bisher auf geringes Interesse und wird auf wissenschaftlichen Tagungen und in Veröffentlichungen nur wenig diskutiert. Als Folge sind Großrechner in der akademischen Lehre nur unzureichend vertreten.

Großrechner (Mainframes) im engeren Sinne implementieren die IBM „System z"-Architektur. Das dort am häufigsten eingesetzte Betriebssystem ist z/OS. Andere Faktoren als die reine CPU-Leistung spielen eine dominierende Rolle:

- Die maximale Ein-/Ausgabeleistung für Transaktions- und Datenbankanwendungen ist deutlich höher als bei allen anderen Plattformen.
- Zuverlässigkeit/Verfügbarkeit: Es wird eine Verfügbarkeit von bis zu 99,999 % erreicht. Dies bedeutet, dass im Laufe eines Jahres der Rechner im Durchschnitt lediglich für eine Dauer von 10 min für einen Endbenutzer nicht verfügbar ist. Zahlreiche und teilweise sehr aufwendige Hardware- und Softwareeinrichtungen ermöglichen diese Eigenschaft.
- Datenintegrität und Sicherheit: Umfangreiche Hardware- und Softwareeinrichtungen ermöglichen ein Maximum an Sicherheit. Seit vielen Jahren sind keine erfolgreichen Hacker- oder Virenangriffe bekannt geworden. Security-Updates sind für das Betriebssystem und die wichtigsten Subsysteme so gut wie nie erforderlich.

Der folgende Beitrag erhält einen Überblick über Technologien, die derzeitig nur auf System-z-Großrechnern verfügbar sind und erläutert, mit welchen Maßnahmen wir an der Universität Tübingen und an anderen Hochschulen das Wissen hierüber in die akademische Lehre einbauen.

Führende Mainframe-Technologien

Seit vielen Jahren erstellt das führende Beratungsunternehmen Gartner Research eine jährliche Studie, in der die Eigenschaften häufig eingesetzter Großrechner bewertet und miteinander verglichen werden. Als Großrechner werden nach einer Definition der Firma Gartner Research betriebswirtschaftlich eingesetzte Systeme bezeichnet, deren Listenpreis mehr als US$ 250.000 beträgt. Obwohl diese Definition höchst unbefriedigend ist, wird sie in der Fachpresse vielfach benutzt. Spezifisch

DOI 10.1007/s00287-010-0487-6
© Springer-Verlag 2010

Wilhelm G. Spruth · Wolfgang Rosenstiel
Wilhelm-Schickard-Institut für Informatik,
Universität Tübingen, Tübingen
E-Mail: spruth@informatik.uni-tuebingen.de

Zusammenfassung
Großrechner (engl: Mainframe) werden heutzutage gerne als technologische Dinosaurier eingestuft. In Wirklichkeit verfügen sie über eine große Anzahl führender Technologien. Der folgende Aufsatz beschreibt einige Beispiele und schildert unseren Ansatz, dieses Wissen in die akademische Lehre einzubringen.

existiert keine anerkannte wissenschaftliche Abgrenzung, die sich an Werten wie z. B. I/O-Leistung, Transaktionsraten, Verfügbarkeit oder Sicherheit orientieren würde.

Bei den Untersuchungen von Gartner stehen IBM System-z-Großrechner regelmäßig sowohl in der Gesamtwertung als auch in nahezu allen Einzelwertungen an erster Stelle [23]. Eine der Hauptursachen hierfür ist die Tatsache, dass Großrechner eine ganze Reihe führender Hardware- und Softwaretechnologien einsetzen, die auf anderen Plattformen nicht oder nur rudimentär vorhanden sind.

Einige der wichtigsten Beispiele sind im Folgenden aufgeführt.

Hohe Ein-/Ausgabeleistung

Die im betriebswirtschaftlichen Bereich dominierenden Transaktions- und Datenbankanwendungen bedingen häufige Zugriffe auf die auf Plattenspeichern, Solid State Disks und Magnetbandspeichern abgelegten Daten. Hierbei bewältigen Großrechner einen höheren Datenverkehr (Beschleunigung des Zu- und Abtransports großer Datenmengen zu den Verarbeitungseinheiten) als alle anderen Serverplattformen [9]. Obwohl allgemein als Tatsache akzeptiert, existieren zu diesem Thema keine Veröffentlichungen oder wissenschaftliche Untersuchungen.

Eine Reihe von Maßnahmen tragen zu der hohen Ein-/Ausgabeleistung bei, siehe Abb. 1.

Großrechner kennen keine I/O-Driver. Die entsprechende Funktion wird von getrennten I/O-Rechnern übernommen, die als Control Units bezeichnet werden. Die Ausführung einer I/O-Operation belastet damit nicht die CPU, sondern wird von dieser nur angestoßen. Ein Beispiel ist

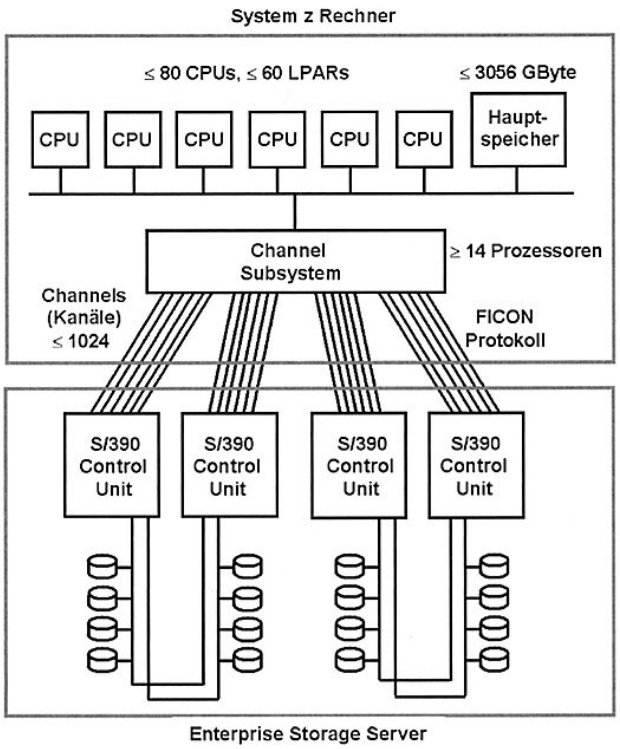

Abb. 1 System-z196-Großrechnerkonfiguration. Ein einzelner System-z-Rechner ist über vielfache Glasfaserverbindungen (Kanäle) mit einem (oder mehreren) Enterprise-Storage-Servern (ESS-Servern) verbunden. Die FICON-Version des Fibre-Channel-Protokolls ermöglicht eine besonders effektive Nutzung der Bandbreite. Der ESS implementiert mehrere logische Control Units, welche den I/O Driver Code ausführen. Es können bis zu 256.000 I/O-Einheiten, z. B. Plattenspeicher, angeschlossen und betrieben werden. Hierbei werden in der Regel mehrere logische Plattenspeicher auf einen physischen Plattenspeicher abgebildet. Alle I/O-Geräte sind über mehrere Pfade erreichbar, und diese können sich während einer I/O-Operation dynamisch ändern

Abstract
The mainframe, frequently labelled a technological dinosaur, features some of the most advanced technologies. The following article highlights leading edge examples and describes our approach to include them in computer science education.

die Ausführung des Linux CFQ (Completely Fair Queuing) I/O-Schedulers [16], dessen äquivalente Funktion von einer Mainframe Control Unit ausgeführt wird.

Ein getrenntes Channel-Subsystem optimiert die Nutzung der vorhandenen Verbindungswege zwischen CPUs und I/O-Geräten, wiederum ohne die CPUs des Rechners zu belasten. [11] und [17] enthalten eine ausführliche Beschreibung der verwendeten Technologien.

Weiterhin verfügt ein Großrechner (beispielsweise das Modell z10) über einen NUMA L2 Cache, der von 77 Prozessoren gemeinsam genutzt wird. Daten werden zwischen I/O und L2 Cache und nicht zwischen I/O und Hauptspeicher übertragen, bei voller Wahrung der Cache-Kohärenz, siehe Abb. 2. Die eingesetzten Cache Kohärenz Algorithmen wurden von IBM bisher nicht veröffentlicht.

Logische Partitionen

Die Virtualisierung für x86-Rechner wurde 1998 von der Firma VMware eingeführt. Die Technologie ist mit der des 1971 eingeführten VM/370-Betriebssystems weitgehend identisch. Es gab einige Schwierigkeiten, weil die x86-Architektur im Gegensatz zur Großrechnerarchitektur für eine Virtualisierung nicht ausgelegt ist [21]. Diese Schwierigkeiten wurden durch die 2006 eingeführte Intel Virtualization Technology (Vanderpool) bzw. AMD Virtualization (Pacifica) beseitigt. Beide Verfahren kopieren Konzepte der 1981 eingeführten Interpretive Execution Facility der Großrechnerarchitektur [20].

Alle diese Technologien erlauben ein Höchstmaß an Flexibilität, leiden aber darunter, dass die virtuellen Maschinen innerhalb eines virtuellen Adressraums (Address Space) des Host-Systems (Hypervisor oder Virtual Machine Monitor) ausgeführt werden, wobei jede virtuelle Maschine innerhalb des Adressraums noch eine eigene Adressumsetzung vornimmt. Dieses Problem wird entweder mittels Shadow Page Tables oder mit einer doppelten Adressumsetzung durch die Hardware gelöst. Der letzte Ansatz ist vorzuziehen, weil der Performanceverlust durch genügend große Adressumsetzpuffer klein gehalten werden kann. Der z196-Großrechner benutzt hierfür einen 2-stufigen Adressumsetzpuffer sowie 1 MByte-Seitenrahmen zusätzlich zu den bisherigen 4 KByte-Rahmen.

Zur Verbesserung führte zunächst Amdahl 1994 die Multiple Domain Feature (MDF) [2] und wenig später IBM die sehr ähnliche LPAR-Technologie (LPAR: logische Partition) [24] für die eigenen Großrechner ein. Logische Partitionen unterscheiden sich von der Virtualisierungstechnologie dadurch, dass die Gastmaschinen in einem realen und nicht in einem virtuellen Speicher laufen. Probleme mit der doppelten Adressumsetzung entfallen deshalb.

Es wäre denkbar, jeder LPAR einen getrennten physischen Speicher zuzuordnen. Wie in Abb. 3 dar-

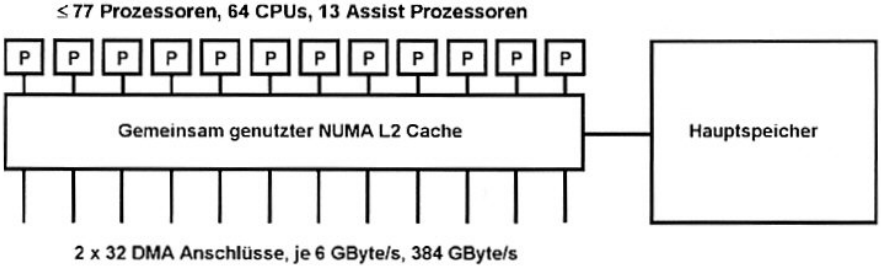

Abb. 2 System-z10 I/O-Anschluss. z10-Großrechner verfügen für bis zu 77 Prozessoren über einen gemeinsam genutzten L2 NUMA-Cache (NUMA: Non-Uniform-Memory Architecture) mit bis zu 192 MByte. Das Channel-Subsystem ist über DMA-Anschlüsse nicht an den Hauptspeicher, sondern an den L2-Cache angeschlossen. Die theoretisch maximal mögliche I/O-Bandbreite von 384 GByte/s wäre mit einem Anschluss an den Hauptspeicher nicht möglich

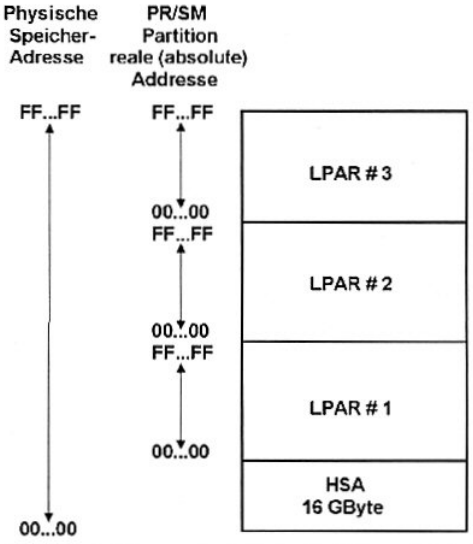

Abb. 3 Reale Adressen der logischen Partitionen. Die logische Partitionierung teilt den physischen Hauptspeicher mittels Address Relocation in mehrere reale Hauptspeicher auf. Jede logische Partition (LPAR) verfügt über einen unabhängigen Satz realer Adressen, der das Ziel der virtuellen Adressumsetzung des in der LPAR laufenden Betriebssystems ist. Die entsprechende Relocation-Hardware ist in jeder CPU vorhanden. In einem weiteren Bereich des physischen Speichers, der Hardware System Area (HSA) läuft der Hypervisor. Die HSA enthält zusätzlich den Code für das Channel-Subsystem. Der Leistungsverlust dieses Virtualisierungsansatzes ist gering und beträgt weniger als 1,5 %. Auch wenn auf einem Mainframe nur eine einzige Instanz eines Betriebssystems installiert ist, läuft dieses dennoch in einer LPAR

gestellt, bildet man in der Praxis mehrere logische reale Speicher mittels Relocation in einem einzigen physischen Speicher ab. Mittels eines Relocation-Limit-Registers wird eine einwandfreie Isolation der einzelnen realen Speicher gewährleistet.

Die Hardware System Area (HSA) ist ein weiterer Bereich des physischen Speichers, auf den die Maschinenbefehle der System-z-Architektur nicht zugreifen können. Sie nimmt den als Processor Resource/System Manager (PR/SM) bezeichneten Hypervisor auf. PR/SM wird deshalb als ein microcodeähnlicher Teil der Hardware betrachtet.

Der Vorteil der LPARs ist ein vernachlässigbarer Performanceverlust im Bereich von 1,2–1,5 %. Der Nachteil ist, dass alle Prozessoren zusätzliche Hardware für die Unterstützung der logischen Partitionen benötigen.

Als Ergänzung führte IBM 2001 die IRD-Technologie (IRD: Intelligent Resource Director) ein, eine Erweiterung des LPAR-Konzeptes [22]. Diese ermöglicht:

- dynamische Verwaltung des realen Speichers,
- Abbildung logischer auf physische CPUs,
- dynamisches Channel Path Management und
- Channel Subsystem Priority Queuing.

Für eine ausführliche Darstellung siehe [8]. In Zusammenarbeit mit dem Workload Manager (siehe Abschn. „Workload Manager") ist damit eine weiter verbesserte Nutzung von CPU-, Hauptspeicher- und I/O-Ressourcen möglich.

Coupling Facility

Ein Sysplex-Cluster ist eine Verbund mehrerer System-z-Großrechner, welche über Fibre Channel oder Infiniband-Glasfasern miteinander verbunden sind. Ein Sysplex besteht aus maximal 32 Rechnern, die in der IBM-Terminologie als Systeme bezeichnet werden. Ein Rechner hat in der Regel mehrere CPUs, die als ein oder mehrere symmetrische Multiprozessoren (SMP) konfiguriert werden. Eine derartige Konfiguration ist in Abb. 4 dargestellt.

Eine zentrale Sysplex-Komponente ist die Coupling Facility (CF). Sie ist ein eigener System-z-Rechner (SMP) mit einem relativ großen Hauptspeicher. Die Kopplung mit anderen System-z-Rechnern eines Sysplex erfolgt über serielle Infiniband-Glasfaserverbindungen (High Speed Coupling Links) mit einer Übertragungsrate von 6 GByte/s, siehe Abb. 4. Weitere Verbindungen zur Außenwelt sind nicht vorhanden. Auf der CF läuft ein als Coupling Facility Control Code (CFCC) bezeichnetes, sehr spezielles Betriebssystem. Die vielfältigen Steuerfunktionen der CF sind für den Systemprogrammierer eines Sysplex und für den Anwendungsprogrammierer nicht direkt verfügbar [27].

In einer typischen SAP-ERP-Konfiguration sind mehrere Rechner über ein Netzwerk (z. B. Ethernet) miteinander verbunden. Ein zentraler Enqueue-Server übernimmt die Sperrverwaltung (Lock Management) für den Verbund. Der Nachteil ist, dass bei jeder Anfrage an den Enqueue-Server der vollständige Netzwerk-Protokollstack durchlaufen werden muss.

Im Gegensatz dazu greift in einer Sysplex-Konfiguration die Coupling Facility über Direct Memory Access (DMA) unmittelbar auf die SMPs des

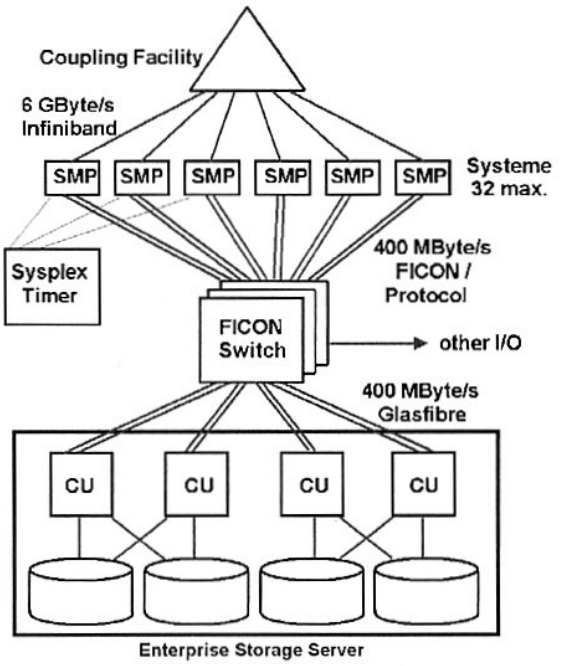

Abb. 4 Sysplex-Konfiguration. Mehrere SMPs sind über Glasfaserverbindungen und der FICON-Version des Fibre-Channel-Protokolls mit den Control Units (CU) von einem oder mehreren Enterprise-Storage-Servern verbunden. Eine herausragende Komponente ist die Coupling Facility (CF, üblicherweise durch ein Dreieck dargestellt). Die CF wird durch einen regulären Mainframe-Rechner implementiert und ist durch Punkt-zu-Punkt-Verbindungen an die SMPs des Sysplex angeschlossen. Sie stellt einen globalen Speicher zur Verfügung, der u. a. als Sperrserver für die Transaktionsverarbeitung dient und damit hervorragende Skalierungseigenschaften ermöglicht

Clusters zu und legt die dynamischen Änderungen aller Sperren in den Hauptspeichern der angeschlossenen SMPs ab, ohne die laufenden Prozesse zu unterbrechen. Hiermit wird bei der Transaktionsverarbeitung eine hervorragende Skalierung von bis zu vielen hundert CPUs erreicht [7].

Ein symmetrischer Multiprozessor (SMP) ist ein fundamentaler Baustein eines jeden Großrechners. Ein SMP besteht aus mehreren CPUs und einem Hauptspeicher, in dem sich eine von allen CPUs gemeinsam genutzte Kopie des Betriebssystemkerns befindet.

Die Nutzung des Betriebssystemkerns stellt einen Flaschenhals dar, weshalb SMPs nur bis zu einer begrenzten Anzahl von CPUs skalieren. Diese maximale Anzahl von CPUs hängt von der Art der laufenden Prozesse ab; für die in der Wirtschaft dominierenden Transaktions- und Datenbankanwendungen liegt die Zahl im niedrigen zweistelligen Bereich.

Heutige Großrechner verfügen über bis zu 80 (IBM z196), 128 (HP Superdome) oder 256 (Sun M9000) CPUs. Um diese zu nutzen, ist eine Aufteilung (Partitionierung) eines physischen Rechners in mehrere voneinander unabhängige logische Rechner erforderlich, von denen jeder einen SMP darstellt.

Auf einem System-z-Großrechner werden die logischen Rechner als LPARs implementiert. Es ist möglich und heute üblich, auch eine CF in einer LPAR unterzubringen. Damit kann ein logischer Sysplex auf einem einzigen physischen System-z-Rechner implementiert werden. Eine moderne große Sysplex-Installation besteht heute häufig aus einer Anzahl physischer Rechner, von denen jeder mehrere logische Rechner implementiert.

Workload Manager

Auf einem Großrechner ist ein prioritätsgesteuerter Zugang zu Betriebsmitteln notwendig, da viele unterschiedliche Anwendungen den Rechner (oder Rechnerverbund) gleichzeitig nutzen und eine den Benutzerwünschen entsprechende Ressourcenverteilung erfolgen muss. Der Workload Manager ist eine Komponente eines Betriebssystems, die mit der Verteilung von Workload und der Zuweisung von Betriebsmitteln in Rechnersystemen zu tun hat.

Workload-Manager-Funktionen sind Bestandteil vieler heutiger Betriebssysteme und besonders in nahezu allen größeren kommerziellen UNIX-Systemen zu finden. Beispiele sind der HP-UX Workload Manager [6] oder der Solaris 10 Resource Manager [25].

Der z/OS Workload Manager (WLM) verfügt über die am meisten ausgefeilten Methoden, um Betriebsmittel und Workloads in einem Rechnerverbund zu lenken. Ein Überblick über diese sehr komplexe Materie ist in [29, 30] enthalten. Der WLM setzt umfangreiche adaptive Algorithmen ein um Rechner zu steuern, sodass Zielvorgaben des Anwenders erfüllt werden. Dabei wird vollständig auf den Einsatz von vorgefertigten Regeln und von fest einzustellenden Parametern verzichtet. Die hierfür erforderlichen Anpassungen an einen sich ständig ändernden Workload erfolgen automatisch mit einer Taktrate von z. B. 10 s [10].

Der z/OS Workload Manager ist in der Lage, entweder einen alleinstehenden z/OS-Rechner zu

steuern oder aber auch den als Sysplex bezeichneten Verbund mehrerer z/OS-Rechner. In einer Sysplex-Konfiguration ermöglicht der WLM eine wirkungsvolle und erprobte Cloud-Computing-Infrastruktur (Cloud Hosting), bei der ein Anwender nicht weiß, auf welchem Rechner des Sysplex eine aufgerufene z/OS-Anwendung ausgeführt wird.

Es wäre vorteilhaft, Anpassungen vornehmen zu können, ehe dynamische Belastungsänderungen auftreten. In diesem Zusammenhang wurden von uns in Zusammenarbeit mit den IBM-Entwicklungslaboratorien neuartige Workload-Manager-Algorithmen unter Einsatz von neuronalen Netzen entwickelt. Hiermit gelang es uns, relativ gute Voraussagen über wahrscheinliche Belastungsänderungen für einen Zeitraum von bis zu 7 h zu erreichen [1].

Technologievorsprung

Neben den hier geschilderten Beispielen existieren eine ganze Reihe weiterer Technologien, die nur auf den IBM-Großrechnern vorhanden sind. Eine Aufstellung und Kurzbeschreibung für 30–40 derartiger Merkmale ist in [26] wiedergegeben. Bemerkenswert ist, dass uns für alle anderen Serverplattformen keine technologischen Eigenschaften bekannt sind, die bei den IBM-Großrechnern nicht vorhanden sind.

Die hier dargestellte technologische Führungsposition der Großrechner ist kein Effekt aus jüngster Zeit. Über die Jahre konnten wir beobachten, dass neue Servertechnologien zunächst auf Großrechnern erscheinen und dann nach und nach auf anderen Plattformen eingeführt werden. Der überwiegende Anteil technologischer Eigenschaften in unseren heutigen Servern ist ursprünglich auf Großrechnern eingeführt worden. Beispiele aus jüngster Zeit sind die x86-Virtualisierungstechnologie, die Einführung von LPARs beim PowerPC, oder von mehreren Prozessoren gemeinsam genutzte L2 Caches.

So ist anzunehmen, dass heutige Technologien wie z. B. logische Partitionen (LPARs), Intelligent Resource Director, Hardware Storage Key Protection oder JVM Reset in einigen Jahren auch auf anderen Plattformen verfügbar sein werden. Die Einführung einer Coupling Facility auf einem Intel Chip würde die Skalierungseigenschaften von 16 oder mehr Cores verbessern.

Vermutlich werden zu diesem Zeitpunkt Großrechner wieder neuere Technologien eingeführt haben, sodass der Technologievorsprung nicht kleiner wird. IBM investiert jährlich etwa 1,2 Mrd. US$ in die Weiterentwicklung der Hardware- und Softwaretechnologien für Großrechner [19].

Hybride Architekturen

Ein Beispiel sind die 2010 mit dem Modell z196 eingeführten Konzepte Ensemble und Unified Resource Manager [12]. Dies sind hybride Systeme, bestehend aus einem Mainframe-Rechner plus Beschleunigern, z. B. auf Basis von x86 oder PowerPC.

Hiermit ist es möglich, rechenintensive Teile einer Anwendung, die nicht auf typische Großrechnerfunktionen wie I/O-Leistung oder -Verfügbarkeit angewiesen sind, auf Prozessoren mit einer andersartigen Architektur auszulagern. Dies ist immer dann sinnvoll, wenn die spezifischen Großrechnereigenschaften nicht benötigt werden. Wollte man beispielsweise einen Petaflop-Rechner mit Großrechnermikroprozessoren bauen, wäre das zwar denkbar, würde aber einen sehr wesentlichen Teil der Funktionen der Prozessorchips nicht nutzen.

Der Ursprung dieser Entwicklung ist Taikodom, ein Massively Multiplayer Online Role-Playing Game (MMORPG), das auf einem „Gameframe"-Rechner der Firma Hoplon läuft. Hierbei handelt es sich um einen regulären z10-Großrechner, verbunden mit einer großen Anzahl von Cell Prozessor Blades [28].

Ähnliche Ansätze sind als Spezialbeschleuniger für Datenbanken (z. B. bei Data Warehousing) oder bei der Stücklistenverarbeitung denkbar. Derzeitig untersuchen wir in Zusammenarbeit mit den IBM-Entwicklungslaboratorien in Böblingen den Einsatz für mathematische Modelle, z. B. bei Banken und Versicherungen [4].

Verstärkung der akademischen Lehre

Anforderungen in Industrie, Handel und Verwaltung

Die aufgeführten Technologien sind zukunftsweisend und sollten daher Bestandteil der akademischen Lehre sein.

Organisationen in Wirtschaft, Handel und öffentlicher Verwaltung beklagen, dass Großrechnerthemen an den Hochschulen zu wenig gelehrt werden. Großrechner stellen einen erheblichen Wirtschaftsfaktor dar und generieren zahlreiche Informatikarbeitsplätze. Leider existieren keine offiziellen Statistiken. Nach inoffiziellen Aussagen

aus IBM-Kreisen beschäftigen mehrere 100 deutsche Großunternehmen insgesamt etwa 25.000 Mainframe-Spezialisten, je zur einen Hälfte als fest angestellte Mitarbeiter und zur anderen Hälfte als freie Mitarbeiter oder in Form von Unterstützung durch unabhängige Softwarehäuser.

Hierbei ergeben sich je nach Qualifikationsebene unterschiedliche Aufgabenstellungen für Berufsakademien, Fachhochschulen und Universitäten. Die Wirtschaft benötigt Nachwuchskräfte mit einer Basisausbildung in Cobol bzw. PL/1 für Neuentwicklungen, für die Wartung existierender Programme und für Anpassungen an Webservices und serviceorientierte Architekturen. Ebenfalls gesucht werden Nachwuchskräfte für die Systemadministration. Hier entstehen zusätzliche Herausforderungen durch die Möglichkeiten, die neue Großrechnertechnologien bieten. Für die universitäre Lehre und Forschung ist es wichtig, die besonderen Eigenschaften und Leistungskriterien von Großrechnern zu vermitteln. Komplexe Problemlösungen wie die Entwicklung neuer Anwendungsarchitekturen, die Integration heterogener Rechnerlandschaften oder die Einführung von serviceorientierten Architekturen (SOA) sind ohne eingehende Kenntnisse der Großrechnereigenschaften in vielen Fällen nicht möglich. Das Gleiche gilt für die Übernahme existierender Großrechnereigenschaften in andere Architekturen, z. B. Hochleistungsparallelrechner.

IBM möchte weltweit in Zusammenarbeit mit den Hochschulen in den nächsten Jahren mindestens 20.000 neue Mainframe-Experten auf den internationalen Arbeitsmarkt bringen [32]. An der Hochschule Bochum findet unter der Leitung von Prof. Köhn seit 10 Jahren jährlich eine Summer School mit je 5–6 Wochen Großrechnervorlesungen und praktischen Übungen unter Nutzung einer unserer Großrechner statt [13]. Ähnliche Veranstaltungen finden 2010 an den Universitäten Hamburg [5] und Kaiserslautern [15] statt. Die Dozenten für diese Veranstaltungen sind größtenteils Experten aus der Wirtschaft.

Wirtschaft und öffentliche Verwaltung sollten akzeptieren, dass Hochschulen die Aufgabe haben, eine breit angelegte Grundausbildung zu vermitteln und das es die Aufgabe der Wirtschaft ist, eine weitergehende vertiefende Spezialausbildung zu ermöglichen. Hierfür existieren spezielle Institutionen für die Großrechnerausbildung, beispielsweise die it-Akademie Bayern [14], die European Mainframe Academy [3] oder auch Schulungsangebote der Firma IBM.

Eigene Aktivitäten

Wir betreiben seit einigen Jahren an den Universitäten Tübingen und Leipzig je einen eigenen z9-Großrechner, der ausschließlich für Zwecke der akademischen Forschung und Lehre eingesetzt wird (Abb. 5). Für diese Rechner wurden in den vergangenen Jahren etwa 50 zum Teil recht anspruchsvolle studentische Übungsaufgaben entwickelt.

Hierzu bieten wir in Tübingen und Leipzig je eine Einführungsvorlesung „Enterprise Computing: Einführung in das Betriebssystem z/OS“ als Wahlpflichtmodul im Masterstudiengang an. Die Veranstaltung besteht aus einer Vorlesung und begleitenden praktische Übungen auf unserem Großrechner. In Leipzig wird dies durch eine Aufbauvorlesung „Enterprise Computing: Internet Integration“ von Herrn Prof. Bogdan ergänzt, ebenfalls mit begleitenden praktischen Übungen. Letztere Vorlesung findet als e-Learning-Veranstaltung auf dem Moodle Server [18] der Universität statt. Vorlesung und praktische Übungen behandeln neben den Grundlagen vor allem Themen wie Transaktionsverarbeitung, Virtualisierung, logische Partitionen, Sysplex und Coupling Facility, WebSphere Web Application Server, Java Connection Architecture am Beispiel des CICS Transaction Gateways, Web Services, einen SOA Case Study mit Aris und WebSphere Designer sowie die Eclipse-basierte „Rational Developer for System z“-Entwicklungsumgebung.

Spezifisch findet an der Universität Leipzig das Assemblerpraktikum im Grundstudium auf unserem Großrechner statt. Großrechner verfügen über eine besonders klare und übersichtliche Architektur der Maschinensprache und sind die einzigen heute verfügbaren Rechner, die sich einigermaßen komfortabel in Maschinensprache programmieren lassen. Auch wenn hiervon in der Praxis nur selten Gebrauch gemacht wird, ist dies unter didaktischen Gesichtspunkten für die akademische Lehre interessant.

Weitergehende Pläne

Eine ähnliche Ausbildung sollte an vielen anderen Hochschulen vorhanden sein. Da vielfach Großrechner als eine veraltete Technologie angesehen werden,

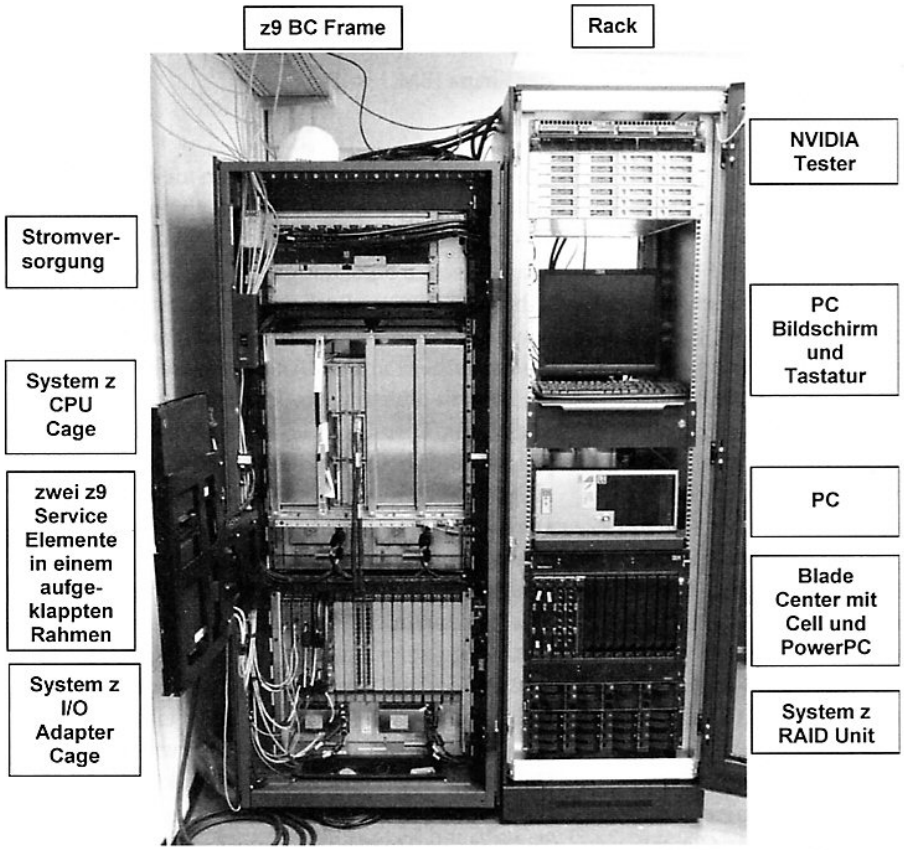

Abb. 5 Auf der* linken Seite *der System-z-Modell-z9 Mainframe-Rechner des Lehrstuhls Technische Informatik der Universität Tübingen.* Rechts *sieht man ein zusätzliches Rack. Unten ist über der mit FICON-Kabeln angeschlossenen Plattenspeichereinheit ein über Infiniband angeschlossenes Blade Center mit Cell- und PowerPC Blades zu sehen. Darüber befindet sich ein PC mit Tastatur und Bildschirm sowie ein NVIDIA-Tester

wurde die akademische Lehre in den vergangenen 20 Jahren häufig auf einen geringen Rest zurückgefahren. Eine Umkehrung des Trends ist schwierig, weil der Wissensstand über Großrechner an den deutschen Hochschulen ebenfalls stark rückläufig ist.

In einigen Fällen hat sich das folgende Konzept bewährt:

1. Es wird ein Seminar zum Thema Großrechner angeboten, für das wir die entsprechenden Publikationen zur Verfügung stellen.
2. Ein lokaler wissenschaftlicher Mitarbeiter arbeitet sich in die vorhandenen detailliert dokumentierten praktischen Übungsaufgaben ein.
3. Parallel zu dem Seminar finden praktische Übungen statt, die auf unserem Rechner über das Internet ausgeführt werden und von dem wissenschaftlichen Mitarbeiter betreut werden. In Notfällen steht einer unserer Mitarbeiter für telefonische Unterstützung zur Verfügung.

Dieser Ansatz wurde an einigen Hochschulen mit Erfolg durchgeführt.

Im SS 2009 haben wir erstmalig einen Moodle-e-learning-Server für eine Großrechneraufbauveranstaltung an der Universität Leipzig eingesetzt, unter weitgehendem Verzicht auf Präsenzveranstaltungen und unterstützt durch praktische Übungsaufgaben auf unserem Rechner. Die Reaktion der teilnehmenden Studenten waren durchaus positiv und die Prüfungsergebnisse überdurchschnittlich. Für das WS 2010/11 planen wir eine Großrechnereinführungsveranstaltung an der Hochschule Bochum nach dem gleichen Vor-

bild, wobei die praktischen Übungen wiederum auf einem unserer Großrechner stattfinden werden.

Es ist denkbar, dass dies ein Modell für weitere Hochschulen ist, um dem Problem des unzureichenden Fachwissens zu begegnen. Das kann sich jedoch nur auf die Grundlagen beschränken und sollte besonders neuartige Technologien vermitteln.

Literatur

1. Bensch M, Brugger D, Baeuerle P, Rosenstiel W, Bogdan M, Spruth W (2007) Self-Learning Prediciton System for Optimisation of Workload Managememt in a Mainframe Operating System. International Conference on Enterprise Information Systems, Funchal 2007, pp 212–218
2. Doran RW (1988) Amdahl Multiple-Domain Architecture. Computer 21(10):20–28. http://www.princeton.edu/~yctwo/files/readings/amdahl_multiple_domain_doran88.pdf
3. European Mainframe Academy. http://www.mainframe-academy.de
4. Grosser T, Schmid AC, Deuling M, Nguyen H-N, Rosenstiel W (2009) Off-loading Compute Intensive Tasks for Insurance Products Using a Just-in-Time Compiler on a Hybrid System. CASCON'09, Proceedings of the 2009 conference of the center for advanced studies on collaborative research
5. Hanseatic Mainframe Summit. http://vsis-www.informatik.uni-hamburg.de/teaching/ss-10/hms2010/
6. HP-UX Workload Manager User's Guide. http://h20338.www2.hp.com/enterprise/w1/en/os/hpux11i-wlm-overview.html
7. IBM Redbooks (1998) System/390 Parallel Sysplex Performance, Form No. SG24-4356-03, Dezember 1998. http://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg244356.pdf
8. IBM Redbooks (2001) z/OS Intelligent Resource Director, August 2001, SG24-5952-00. http://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg245952.pdf
9. IBM Redbooks (2008) ABCs of z/OS System Programming, vol 10. Form No. SG24-6990-03, September 2008. http://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg246990.pdf
10. IBM Redbooks (2008) System Programmer's Guide to Workload Manager, Form No. SG24-6472-03, März 2008. http://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg246472.pdf
11. IBM Redbooks (2010) IBM System z Connectivity Handbook, August 2010, SG24-5444-11. http://www.redbooks.ibm.com/redpieces/pdfs/sg245444.pdf
12. IBM Redbooks (2010) IBM zEnterprise System Technical Introduction, August 2010, SG24-7832-00, Kap 4. http://www.redbooks.ibm.com/redpieces/pdfs/sg247832.pdf
13. IBM Seminar (2009) Hochschule Bochum, Juli 2009. http://www.hochschule-bochum.de/fbe/ibm-seminar.html
14. it Academie Bayern, z/OS Academy. http://www.it-akademie-bayern.de/index.php?id=45&n=z/OS-Academy
15. Kaiserslautern Mainframe Summit. http://wwwlgis.informatik.uni-kl.de/cms/courses/mainframesummit/
16. Layton JB (2009) Tuning CFQ – What Station is That? Linux Magazine, October 14th, 2009. http://www.linux-mag.com/cache/7572/1.html
17. Lehmann H, Spruth WG (2003) Eigenschaften einer modernen Ein/Ausgabe Architektur. it – Inf Technol 45(1):20–29. http://www-ti.informatik.uni-tuebingen.de/~spruth/Mirror/inout18.pdf
18. Moodle Home Page. http://moodle.org/
19. Morgan TP (2007) The IBM Mainframe Base, Alive and Kicking. http://www.itjungle.com/big/big071007-story01.html
20. Osisek DL, Jackson KM, Gum PH (1991) ES/390 interpretive execution architecture, foundation for VM/ESA. IBM Sys J 30(1):34–51
21. Popek GJ, Goldberg RP (1974) Formal requirements for virtualizable third generation architectures. Commun ACM 17(7):412–421
22. Rooney WJ, Kubala JP, Maergner J, Yocom PB (2002) Intelligent resource director. IBM J Res Dev 46(4–5):567–586
23. Sasso S (2007) Silvio's Corner. GSE z/OS Expertforum Switzerland 67, 25.–26.9. 2007. http://www.thebrainhouse.ch/gse/doku/67_GSE/GSE67_Silvio_Sassos_Corner.pdf, S 42
24. Siegel IG, Glendening BA, Kubala JP (2004) Logical partition mode physical resource management on the IBM eServer z990. IBM J Res Dev 48(3–4):535–541
25. Solaris Containers. Resource Management and Solaris Zones Developer's Guide. http://dlc.sun.com/pdf/817-1592/817-1592.pdf
26. Spruth WG (2010) System z and z/OS unique Characteristics. Wilhelm Schickard Instiute for Informatik, Tuebingen University, Technical Report WSI-2010-03, April 2010. http://tobias-lib.uni-tuebingen.de/frontdoor.php?source_opus=4710
27. Spruth WG, Rahm E (2002) Sysplex-Cluster Technologien für Hochleistungs-Datenbanken. Datenbank-Spektrum 3:16–26
28. The whole Universe is running on Gameframe. http://www.taikodom.com/content/view/109
29. Vaupel R (2004) Managing Workloads in z/OS, An overview of WLM and its major enhancements. IBM Sys Mag Jan./Feb.2004. http://www.ibmsystemsmag.com/mainframe/januaryfebruary04/administrator/10079p1.aspx
30. Vaupel R, Teuffel M (2004) Das Betriebssystem z/OS und die zSeries. Oldenbourg, S 163ff
31. http://de.wikipedia.org/wiki/Großrechner
32. http://www-03.ibm.com/press/de/de/pressrelease/32282.wss

Alle hier angegebenen Internet Referenzen sind auf einem Mirror unter www.cedix.de/edumirror.html, oder alternativ unter http://www-ti.informatik.uni-tuebingen.de/~spruth/edumirror/edu.html reproduziert.