

Innovatives Hochleistungs-Rechnerprinzip aus  
Kaiserslautern

# Xputer – eine Alternative zum Computer ?

Wegen des von-Neumann-Prinzips müssen Computer schon von jeher auf eine Art und Weise programmiert werden, die zu recht komplexer Software führt: Ein enorm hoher Anteil besteht aus organisatorischen Artefakten („overhead“), die nicht unmittelbar zu der vom Anwender beabsichtigten Nutzrechnung beitragen. Unter Anwendung moderner technologischer Möglichkeiten (die zur Zeit des John von Neumann nicht verfügbar waren) wurde an der Universität Kaiserslautern ein neues Rechner-Prinzip entwickelt, das auf der Software-Seite offenbar deutlich weniger „overhead“ nach sich zieht. Mit solchen „Xputern“ wurden – im Vergleich zu Computern – bei einer Reihe wichtiger paralleler Algorithmen mit deutlich weniger Hardware drastisch bessere Leistungen gemessen. In einem Extremfall wurde sogar ein Akzelerationsfaktor von mehr als 2000 erzielt.

Die Informatik ist eine recht konservative Wissenschaft. Ihre wichtigste Existenz-Motivation ist noch immer das nunmehr fast 50 Jahre alte Prinzip der von-Neumann-Maschine (die wir hier einfach „Computer“ nennen). Trotz atemberaubender Fortschritte in der Technologie der Mikroelektronik beruhen so gut wie 100% der kommerziell benutzten programmierbaren Prozessoren, Mikroprozessoren, Superrechner etc. auf diesem von-Neumann-Prinzip, wengleich in verfeinerter Form durch eine Vielzahl weiterentwickelter Computer-„Architekturen“. Die Dominanz des von-Neumann-Prinzips geht noch weiter: Sogar Programmierer und System-Analytiker, die mit höheren Programmiersprachen arbeiten, benutzen als eine Art Leitfaden ein Modell, das man eigentlich als eine Art geistige („virtuelle“) von-Neumann-Maschine bezeichnen könnte.

**Ineffizient, jedoch mit affenartiger Geschwindigkeit**

Computer mit ihren von-Neumann bottlenecks („Flaschenhälsen“) sind immer wieder als ineffizient kritisiert worden. Gelegentlich wurde die Kritik überspitzt formuliert: Ein Computer sei ein Vollidiot mit Spezialbegabung, der nur einige einfache Operationen ausführen kann, dies aber in mehr als affenartiger Geschwindigkeit. Der einzelne Prozessor zeigt im Prinzip keinerlei Parallelität: Von seinem Befehlsvorrat kann zu einem Zeitpunkt immer nur ein einziger Befehl ausgeführt werden. Dies ist der wichtigste unter den von-Neumann Flaschenhälsen. Dies kann man mit einer Gießkanne vergleichen, deren Brausekopf nur ein einziges Löchlein hat.

- Den Anwendern fallen immer wieder neue Probleme ein, die noch mehr Rechenleistung verlangen
- Marketingstrategen haben immer neue Ideen zu intelligenten Massenprodukten, welche die Rechenleistung für immer weniger Geld erfordern.

**Das Parkinson'sche Gesetz gilt auch für Computer**

Von den vielen MIPS kommt nur ein winziger Bruchteil als echt nutzbare Rechenleistung beim „Endverbraucher“ an. Anstatt für Nutzrechnungen wie Additionen, Multiplikationen etc. wird der größte Teil der Rechenleistung für die Verwaltung von Ein-/Ausgabegeräten, Speicherraum u.a.m. verbraucht. Der Fachausdruck für solchen Verwaltungsaufwand ist *overhead* („Wasserkopf“). Das Organisationsprinzip der von-Neumann-Maschine zwingt den Programmierer dazu, ganz ungeheure Massen von *overhead* zu erzeugen.

Das Parkinson'sche Gesetz gilt also offenbar auch für Computersysteme, und zwar hier in ganz besonderem Maße. Es gibt viele Arten von *overhead*, wovon ein Teil im Betriebssystem entsteht und ein anderer Teil auf die mangelhafte Programmierertechnik zurückgeht. Vielleicht erinnert sich der Leser an den 1968 geprägten Begriff der „Software-Krise“, ein

Dank des nunmehr Jahrzehnte anhaltenden ungeheuer raschen Fortschrittes der Mikroelektronik konnten trotz dieses prinzipiellen Mangels geradezu dramatische Verbesserungen des Preis-Leistungsverhältnisses erzielt werden. Selbst billige Mikroprozessoren werden bald einer Leistung von 100 MIPS nahekommen („MIPS“ steht für „Millionen Instruktionen Pro Sekunde“). Warum also die Unzufriedenheit? Diese hat hauptsächlich folgende Gründe:

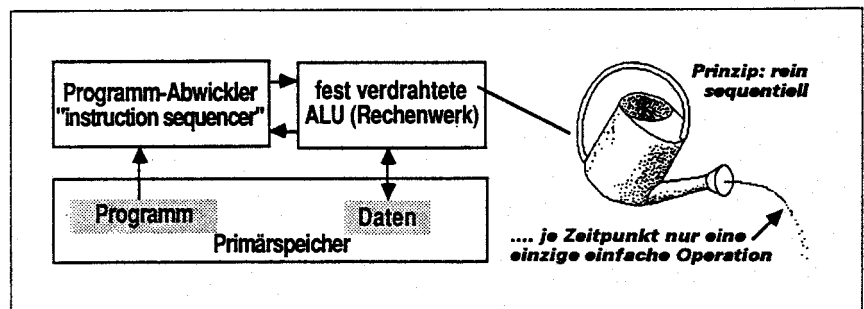


Bild 1: Prinzip des (von-Neumann-)Computers (vereinfachte Veranschaulichung)

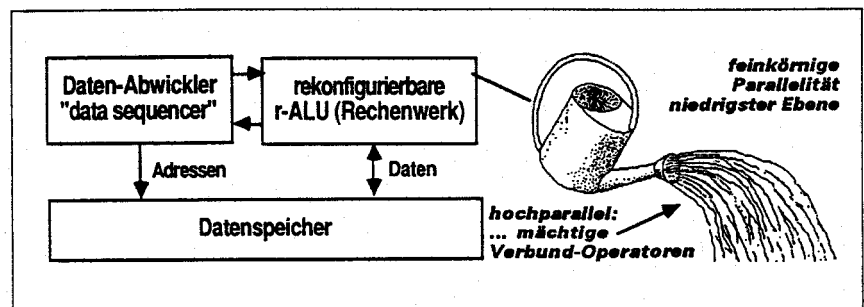
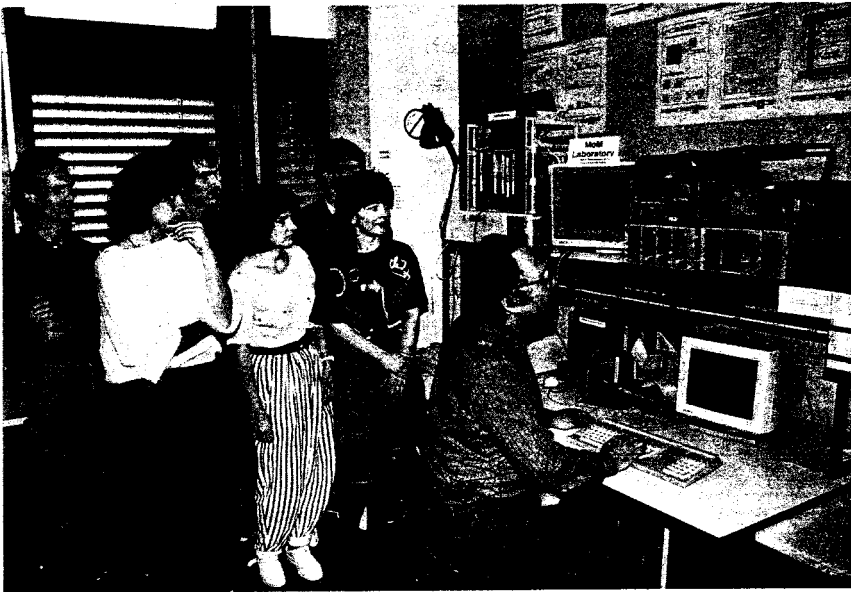


Bild 2: Prinzip des Xputers (vereinfachte Veranschaulichung)



Prof. Hartenstein beim Xputer-Praktikum mit Studenten und Mitarbeitern

heute noch aktuelles Symptom dafür, wie schwierig es ist, Computer auf vernünftige Weise zu programmieren. So gesehen ist das von Vertriebsleuten benutzte Maß an MIPS eigentlich kein echtes Leistungsmaß. Wenngleich folgender Vergleich hinkt: Dies gleicht fast einem Autoverkäufer, der als Leistungsmaß den Benzinverbrauch angibt statt der Höchstgeschwindigkeit und der Beschleunigungswerte.

### Parallelrechnerforschung: 20 Jahre lang auf das falsche Pferd gesetzt?

Die Entwicklung von Parallel-Computersystemen hat das Ziel, die Computerleistung noch schneller zu steigern, als dies allein durch den technologischen Fortschritt der Mikroelektronik möglich ist. Parallelcomputer fassen mehrere, manchmal sehr viele Computer zusammen, mit dem Ziel einer arbeitsteiligen, gleichzeitigen Bearbeitung eines Problems. Um zu unserem Gießkannen-Vergleich zurückzukommen: Der Gärtner nimmt gleichzeitig mehrere Ein-Loch-Gießkannen (je fünf Stück in jede Hand?), um den Bewässerungs-Durchsatz zu steigern. Dies nennt man „Parallelität auf hoher Ebene“. Diese Strategie ist jedoch nicht so idiotisch, wie dieser Vergleich zu zeigen scheint. Nur so hat man die Chance, auf überall in der Welt verfügbare Software, Infrastrukturen und Qualifikationen zurückgreifen zu können, die in Jahrzehnten entstanden sind.

Das wichtigste Problem der Parallelrechnerforschung besteht darin, daß

sich derzeit die meisten Probleme nicht derart in Teilaufgaben zerlegen lassen, daß die einzelnen Computer auch nur einigermaßen gut ausgelastet werden. Obendrein entsteht noch ein meist sehr beträchtlicher zusätzlicher *overhead* durch die nötige Koordination der Einzelcomputer. Bei Parallelrechnersystemen gilt also das Parkinson'sche Gesetz in verstärktem Maße: Einen Großteil der Zeit sind die einzelnen Rechner damit beschäftigt, Nachrichten untereinander auszutauschen. (Der Gießkannenvergleich hinkt hier: Gießkannen können nicht miteinander kommunizieren).

Trotz mehr als zwei Jahrzehnten massiver Forschungsanstrengungen über Superrechner und Parallelrechnersysteme ist der erhoffte Durchbruch noch immer nicht in Sicht: Noch immer ist der Unterschied zwischen „peak rate“ (theoretisch erreichbare Spitzenleistung – von den Vertriebsleuten immer gern genannt) und „sustained rate“ (in der Praxis erreichte durchschnittliche Leistung) ganz enorm. Es wurde in den letzten zwei Jahrzehnten weltweit mit großem Aufwand immer wieder probiert, jedoch – aus allgemeiner Sicht – mit recht bescheidenen Fortschritten: Nur für wenige eng umrissene Anwendungsgebiete kommt die erzielte Leistung der „peak rate“ relativ nahe (beispielsweise bei Ingenieur Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt). Dies erklärt beispielsweise das geringe Volumen des Marktes an Superrechnern. Alle diese Probleme sind die große Chance für das einfachere und effizientere Xputer-Konzept, das

von Professor Dr. Reiner W. Hartenstein und seinen Mitarbeitern im Fachbereich Informatik der Universität Kaiserslautern entwickelt worden ist.

### Xputer: viel mehr Leistung trotz weniger Hardware

Die Programmierbarkeit von Xputern beruht auf der Verwendung sogenannter *EPLDs* (elektrisch programmierbarer Logik-Bausteine: (weltweit) ein Milliarden-US-Dollar-Markt) im Gegensatz zum Programmspeicher des Computers. Ein Xputer-„Programm“ besteht daher nicht aus Befehlen, die nacheinander aus einem Programmspeicher abgerufen werden, sondern aus Verbindungsleitungen, die vor dem Beginn der Rechenaktivität auf dem ALU-Chip konfiguriert werden. Das Rechenwerk ist also nicht fest verdrahtet, sondern kann blitzschnell zu leistungsfähigen hochparallelen Verbundoperatoren konfiguriert werden.

Die mit dem Übergang von Computern zum Xputer verbundene Abkehr vom von-Neumann-Konzept bedeutet somit, daß die Parallelität innerhalb eines Einzelprozessors erreicht wird statt durch Bündelung vieler (Computer-)Prozessoren! Statt vieler Ein-Loch-Gießkannen wird nur eine einzige Gießkanne verwendet, deren Brausekopf jedoch viele Löcher hat. Diese Art von Parallelität auf unterster Ebene macht den Xputer sehr viel effizienter als den Computer. Erste Meßergebnisse bei Leistungsvergleichen, durchgeführt in der AG Hartenstein, zeigten, daß eine typische Leistungsverbesserung für parallele Algorithmen um Hundert bis mehrere Hundert zu liegen scheint (wobei von einer technologisch gesehen möglichst fairen Vergleichsbasis ausgegangen wurde). In einem Einzelfall wurde sogar ein *Akzelerationsfaktor* von mehr als 2000 gemessen.

### Hoher Wirkungsgrad bei wettbewerbsrelevanten Anwendungen

Diese Meßergebnisse beziehen sich auf eine wichtige Klasse paralleler Algorithmen, insbesondere aus Signalverarbeitung, Bildverarbeitung, Medizin, wichtigen Teilgebieten der Mathematik etc. In diesen für unsere Wirtschaft wettbewerbsrelevanten Anwendungsgebieten kann es der Xputer an Leistung oft sogar mit hochintegrierten Spezialbausteinen (ASICs, kundenspezifische Mikroelektronik-Bausteine) aufnehmen. Ein wichtiger Vorteil des Xputers ist dabei, daß er universell programmierbar ist – im Gegensatz zu ASICs.

**Xputer: ein neues Forschungsgebiet**

Derzeit können die gemessenen hohen Akzelerationsfaktoren noch nicht vollständig erklärt werden. Ein wichtiger Faktor besteht offenbar darin, daß Xputer-„Programme“ – im Vergleich zu Computer-Programmen – viel geringeren overhead haben. Das von-Neumann-Prinzip zieht anscheinend viel mehr overhead nach sich, als allgemein bekannt ist. Über diesen overhead bei Computern gibt es in der Fachliteratur praktisch nur isolierte Untersuchungen über einzelne Phänomene. Ein umfassender Überblick über das gesamte Ausmaß des overhead fehlt noch. Dazu ist noch viel Forschungsarbeit nötig – auch über den overhead bei Computern. Die vergleichsweise sehr hohe Effizienz der Xputer legt also höchstwahrscheinlich vor allem dann begründet, daß Computer-Anwendungen so außerordentlich ineffizient sind.

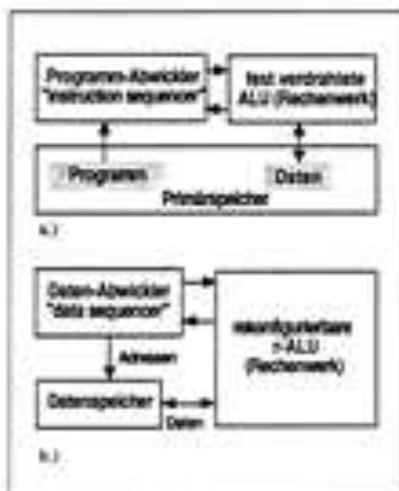


Bild 3: Basisstruktur von Computern (a.) und Xputern (b.)

Wie bei Computern, so sind auch bei Xputern viele verschiedene „Architekturen“ möglich. Ein Beispiel für eine solche Xputer-Architektur ist die von Prof. Hartenstein und seinen Mitarbeitern und Studenten gebaute MoM (Map-oriented Machine), zu der auch ein Übersetzer für die Programmiersprache MoPL (Map oriented Programming Language) realisiert worden ist. Trotz der übermäßig guten Leistung bei nur „ganz wenig Hardware“ stellt dieses Gerät nur einen allerersten Anfang dar – entwickelt mit dem Ziel, die Brauchbarkeit der Grundprinzipien nachzuweisen. Eine neue Theorie der Xputer muß dementsprechend nicht entwickelt werden; Es kann auf bekannte Gebiete zurückgegriffen werden (Compiler, Silicon Compi-

ler, VLSI-Systeme, digitale Signalverarbeitung, schnelle Algorithmen etc.). Die Karten müssen allerdings neu gemischt werden, weshalb ein neues Forschungsgebiet entsteht und eine neue Szene aufgebaut werden muß.

Es ist jedoch noch viel Forschungsarbeit zu leisten zur Verfeinerung und Optimierung der Verfahren, Sprachen und Programmier-Techniken und auch der Hardware – zur Erzielung noch höherer Leistung mit noch billigerer Hardware. Nicht zu unterschätzen ist auch die Er-

schließung der Anwendungsgebiete, das Werben um Anwender. Das Gebiet der Hardware, Architektur und Software für Xputer ist ein sehr weites, aber noch sehr unreifes Forschungsgebiet. Das heißt, die Innovationsrate ist hier noch sehr hoch. Deshalb ist Prof. Hartenstein sehr optimistisch bei seiner Suche nach Mitstreitern auch außerhalb der Universität Kaiserslautern, die schon erste Erfolge zeigt. Die Rate der Einladungen zu Vorträgen zeigt steigende Tendenz.

Karin Schmidt

JULI 1990 3  
 UNI SPECTRUM  
 UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN