



C. Müller-Schloer · E. Schmitter (Hrsg.)

RISC-Workstation- Architekturen

Prozessoren, Systeme und Produkte

Mit 270 einfarbigen und 8 mehrfarbigen Abbildungen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Dr.-Ing. Christian Müller-Schloer

Universitätsprofessor, Institut für Rechnerstrukturen
und Betriebssysteme, Universität Hannover

Dipl.-Math. Ernst Schmitter

Leiter der Fachabteilung Rechnerarchitekturen,
Zentralabteilung Forschung und Entwicklung,
Siemens AG, München

ISBN 978-3-540-54050-2

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

RISC-Workstation-Architekturen : Prozessoren, Systeme und
Produkte / C. Müller-Schloer ; E. Schmitter (Hrsg.). - Berlin ;
Heidelberg ; New York ; London ; Paris ; Tokyo ; Hong Kong ;
Barcelona ; Budapest : Springer, 1991

ISBN 978-3-540-54050-2 ISBN 978-3-642-58238-7 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-58238-7

NE: Müller-Schloer, Christian [Hrsg.]

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1991

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1991

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosieranweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Satz: Reproduktionsfertige Vorlagen der Herausgeber

62/3020-543210 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

Vorwort

”Rechenleistung an den Arbeitsplatz!” und ”Jedem Entwickler seinen eigenen Rechner!” Die Realisierung dieser Forderungen moderner Datenverarbeitung bestimmt wesentlich das weltweite Marktvolumen für den Rechnereinsatz. Der Wunsch nach immer höherer Rechenleistung, das Angebot hoher Verarbeitungsgeschwindigkeit, die Erschließung neuer und komplexerer Anwendungsfelder, die Verbesserung der Technologien und die Erweiterungen der Systemfunktionen sind Kriterien, die durch die Bereitstellung zentraler Rechenkapazitäten der Mainframes nicht mehr allein befriedigt werden können. Dezentralisierung von Rechenleistung und kooperative Strategien der Zusammenarbeit im Verbund sind Motivation und Motor für die Entwicklung heutiger professioneller Workstations.

Faktoren für den Erfolg der Workstations, der sich mittelfristig in Wachstumsraten von 30% pro Jahr ausdrückt, sind: *Technologie*, die höchste Rechenleistung auf kleinstem Raum ermöglicht, *Architektur*, die diese Möglichkeiten in Verarbeitungsleistung umsetzt, *Graphik*, die die notwendigen leistungsfähigen Benutzeroberflächen schafft, *Vernetzung*, die sich bei Aufgabenverteilung und Kooperation auf Standards der Kommunikation stützt, und nicht zuletzt ein *Standard-Betriebssystem* als Basis für die breite Verfügbarkeit von Anwender-Software.

Das Aufkommen von *RISC-Konzepten* (Reduced Instruction Set Computer) sorgte für einen Leistungssprung bei Prozessoren und Rechensystemen und eröffnet den Workstations neue Leistungsbereiche und Anwendungen. Daneben ist der Erfolg der Workstation in den letzten 10 Jahren untrennbar verknüpft mit der Entwicklung des allgemein verfügbaren und weitgehend standardisierten Betriebssystems UNIX.

Workstations sind im Begriff, eine eigenständige Rechnerklasse zu werden. Ihre stürmische Entwicklung bringt es mit sich, daß häufig die an sich notwendige Systematik und Begriffsklärung zu wünschen übrig lassen. Dieses Buch faßt die für Workstations wichtigsten Architekturaspekte zusammen: RISC- und Pipeline-

Konzepte für die Prozessoren, Speicherarchitekturen und Busse für die Ebene der Systemarchitektur, Graphik für fortschrittliche Benutzeroberflächen, Vernetzung für die Kooperation verteilter Systeme und das Betriebssystem UNIX als Basis für die Portierbarkeit von Anwender-Software.

Moderne RISC-Workstations weisen in ihrer Architektur eine Reihe von Ähnlichkeiten auf, müssen sich andererseits aber am Markt voneinander absetzen: ihre Gemeinsamkeiten werden beschrieben und die Unterschiede verdeutlicht, indem die wichtigsten Prinzipien, die grundlegenden Komponenten, deren Zusammenspiel und die wechselseitigen Einflüsse ausführlich behandelt werden. Das Buch möchte für den Leser Entwicklungsentscheidungen nachvollziehbar machen und in der verwirrenden Vielfalt von Design-Aspekten einen Beitrag zur Übersichtlichkeit leisten.

Die einzelnen Kapitel sind dabei so gestaltet, daß sie zum einen eigenständig den Themenschwerpunkt ausführlich diskutieren und dann häufig vernachlässigte Aspekte einer Architekturentwicklung aufarbeiten. Sie erfassen so mehr, als im engeren Sinn zur Beschreibung einer Workstation-Architektur notwendig ist. Darüberhinaus sind die Ausführungen über die Workstation-Komponenten wie Prozessor, Pipeline, Speicher und Bus unter besonderer Berücksichtigung der RISC-Konzepte geschrieben, wo sie ein neues zusätzliches Gewicht bekommen. Die entscheidenden Kriterien werden am Beispiel einer "Referenz"-Workstation BWS '91 noch einmal zusammengefaßt. Die reale Welt heutiger RISC-Workstations beleuchten die Produktbeschreibungen einiger führender Workstation-Hersteller. Das Stichwortverzeichnis und ganz besonders das ausführliche Glossar sollen eine schnelle Orientierung auch für denjenigen ermöglichen, der nicht den gesamten Stoff durcharbeiten möchte.

Motivation und Konzept für dieses Buch entsprangen den Erkenntnissen, die bei der Durchführung von Seminaren zum Thema RISC-Workstation-Architekturen gewonnen wurden. Diese beruhen auf Erfahrungen der Autoren, die auch im Zentralbereich Forschung und Entwicklung der Siemens AG bei der Konzeption neuer Workstation-Architekturen erarbeitet wurden. Dementsprechend zeichnen folgende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für die einzelnen Kapitel verantwortlich:

- Kapitel 1: "Überblick Workstation-Architekturen"
Christian Müller-Schloer
- Kapitel 2: "RISC-Grundlagen"
Christian Müller-Schloer
- Kapitel 3: "Pipelining"
Eberhard Schäfer

- Kapitel 4: "Speicherarchitektur"
Thomas Niedermeier, Doris Rauh
- Kapitel 5: "RISC-Compiler"
Christian Hafer
- Kapitel 6: "Aktuelle RISC-Prozessoren"
Erwin Thurner
- Kapitel 7: "Busse"
Erwin Thurner
- Kapitel 8: "Vernetzung"
Johannes Bergmann, Katrin Braun
- Kapitel 9: "Graphik"
Katrin Braun
- Kapitel 10: "Massenspeicher"
Christian Hafer, Erwin Thurner
- Kapitel 11: "UNIX als Workstation-Standard"
Michael Geiger, Thomas-Herlin Jensen
- Kapitel 12: "UNIX aus Benutzersicht"
Johannes Bergmann
- Kapitel 13: "UNIX aus Systemsicht"
Michael Geiger, Thomas-Herlin Jensen
- Kapitel 14: "Ein typisches RISC-System"
Christian Hafer, Erwin Thurner
- Kapitel 15: "Workstation-Produkte"
Autoren der Firmen

Das Buch wendet sich in gleicher Weise an Studenten, Anwender, Entwickler und technische Manager, die sich umfassend mit den Architekturkonzepten, den Entwicklungskriterien und den Einsatzmöglichkeiten von Workstations auseinandersetzen. Es versteht sich dabei als Ergänzung zu neuerer Literatur über RISC-Architekturen und möchte einen Beitrag zur Abrundung der Themen RISC und Workstation erbringen.

Ein besonderes Anliegen der Herausgeber ist es, sich an dieser Stelle bei allen zu bedanken, die zum Gelingen des Buches beigetragen haben. Der herzliche Dank geht zunächst an die Autoren der Kapitel, insbesondere an Herrn Erwin Thurner, der sich um die Gestaltung und Realisierung des Buches engagiert verdient

gemacht und die Fertigstellung unermüdlich und mit Geduld vorangetrieben hat. Nicht zu vergessen sind außerdem Frau Ute Zeiser, Frau Christa Singer und Frau Charlotte Lorenz, die die Autoren beim Schreiben und der Fertigstellung des Manuskriptes mit viel Einsatz unterstützt haben. Schließlich gilt der Dank noch den verständnisvollen Vorgesetzten, die die Idee zu diesem Buch mitgetragen und die entsprechenden Arbeitsbedingungen bereitgestellt haben.

München, im Frühjahr 1991

Chr. Müller-Schloer

E. Schmitter

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick Workstation-Architekturen	1
1.1 Der Trend zur Workstation	1
1.1.1 Dezentralisierung	1
1.1.2 Definition und Abgrenzung	2
1.1.3 Fünf Erfolgsfaktoren für Workstations	4
1.1.4 Das Client-Server-Modell	6
1.2 Einsatz von Workstations	7
1.3 Leistung und Kosten	10
1.3.1 Das Gesetz von Joy	10
1.3.2 Kostenoptimierung oder Leistungsoptimierung?	11
1.3.3 RISC- oder CISC-Workstation?	12
1.4 Markt	13
1.5 Trends	16
1.6 Komponenten einer (RISC-) Workstation – ein Überblick über die weiteren Kapitel des Buches	19
Literatur	22
2 RISC-Grundlagen	23
2.1 Complex Instruction Set Computer – ein Rückblick	23
2.1.1 Der Ausgangspunkt	23
2.1.2 Argumente für große Befehlssätze	24
2.1.3 Design-Prinzipien der 70er Jahre	26
2.2 Vom CISC zum RISC	27
2.2.1 Änderung der Randbedingungen	27
2.2.2 Die RISC-Ursprünge: Neue Design-Prinzipien	28
2.2.3 Befehlssatzvergleich	29
2.3 Die RISC-Philosophie	31
2.3.1 Entwurfphilosophie	31
2.3.2 Performance als Optimierungsziel	32
2.4 Performance-Berechnung	34
2.4.1 Ideale Performance	34
2.4.2 Reale Performance	36
2.4.3 Beispiele zur Anwendung der Performance-Formel	38
2.4.4 Performance-Einflußfaktoren	39
2.5 RISC-Architektur-Merkmale	39
2.5.1 Ein-Zyklus-Operationen	40
2.5.2 LOAD-STORE-Architektur	42

2.5.3 Lokalhaltung von Daten	43
2.5.4 Befehls-Pipelining und optimierende Compiler	46
2.5.5 Speicherarchitektur	48
2.6 Prozessor-Taxonomie	49
2.6.1 Die Zyklen-MHz-Landkarte	49
2.6.2 Trends	52
2.7 Leistungsreserven	54
2.7.1 Superpipeline-Architektur	55
2.7.2 Superskalare Architektur	56
Literatur	58
3 Pipelining	59
3.1 Das Pipeline-Prinzip	59
3.2 Prozessorarchitektur und Befehls-Pipeline	60
3.2.1 Hardware-Belegungsschema	60
3.2.2 Beispiel-Pipeline	62
3.3 Strukturelle Konflikte	65
3.4 Datenkonflikte	67
3.4.1 Lösung durch Software	67
3.4.2 Scoreboarding	68
3.4.3 Forwarding	69
3.4.4 Abwägung Scoreboard gegen Forwarding	70
3.4.5 Ladebefehle	71
3.5 Steuerkonflikte	72
3.5.1 Sprünge	72
3.5.2 Unterbrechungen	74
3.6 Erweiterungen des Pipeline-Konzeptes	77
3.6.1 Superpipelining	77
3.6.2 Superskalar-Architekturen	78
3.7 Kompatibilität	80
Literatur	82
4 Speicherarchitektur	83
4.1 Speicherhierarchie und RISC-Prozessoren	83
4.2 Cache-Speicher	88
4.2.1 Funktionsweise und Aufbau eines Cache	88
4.2.2 Cache-Parameter	95
4.2.3 Cache-Kohärenz	106
4.2.4 Optimierung von Rechnersystemen mit Cache-Speichern ..	113
4.2.5 On-chip Caches	115
4.2.6 Cache-Architekturen bei RISC-Prozessoren	118
4.3 Hauptspeicher	124
4.3.1 DRAM-Bausteine	125
4.3.2 Beschleunigung von Blockzugriffen	127
4.3.3 Aufbau eines DRAM-Moduls	129
4.4 Virtueller Speicher	130
4.4.1 Adreßraum	131
4.4.2 Adreßabbildung	131
4.4.3 Adreßübersetzung	133
4.4.4 Hardware-Unterstützung für die Speicherverwaltung	137
4.4.5 Zugriff auf gemeinsame Programm- bzw. Datenbereiche ..	139
4.4.6 Virtuelle Speicherverwaltung am Beispiel des MIPS R3000	139

4.5 Zusammenfassung	142
Literatur	143
5 RISC – Compiler	149
5.1 Übersicht	149
5.2 Betriebssystemaspekte	150
5.3 Abbildung von Programmiersprachen auf Prozessoren	153
5.4 Compiler für RISC	155
5.4.1 Einführung	156
5.4.2 RISC aus Compilersicht	159
5.4.3 Optimierungen	163
5.4.4 Registerbelegung	166
5.4.5 Pipeline-Aspekte	173
5.4.6 Compiler für superlineare Architekturen	178
5.5 Ausblick	182
Literatur	184
6 Aktuelle RISC-Prozessoren	187
6.1 Kriterien zur Beurteilung	187
6.1.1 Software	187
6.1.2 Performance-Messung	188
6.1.3 Koprozessorkonzept	190
6.1.4 Multiprozessoranwendungen	190
6.1.5 Register	191
6.1.6 Wortformat	192
6.2 Acorn ARM (VTI VL86C010)	193
6.3 AMD 29000	196
6.3.1 Architekturübersicht	197
6.3.2 AAU Am29027	199
6.3.3 MMU	201
6.3.4 Multiprozessoren	202
6.3.5 Software	202
6.4 Clipper	202
6.5 Intel 80860	204
6.5.1 Architekturüberblick	204
6.5.2 FPU auf dem Chip	205
6.5.3 3D-Graphik	207
6.5.4 MMU	207
6.5.5 Multiprozessoren	208
6.5.6 Software	208
6.6 Hewlett-Packard Precision-Architecture	209
6.7 Motorola 88000	211
6.7.1 Architekturübersicht	212
6.7.2 FPU auf dem 88100	213
6.7.3 MC 88200	213
6.7.4 Fehlertoleranz	215
6.7.5 Multiprozessoren	216
6.7.6 Software	216
6.8 MIPS R3000	217
6.8.1 Architekturübersicht	217
6.8.2 MMU auf dem Chip	219
6.8.3 FPA R3010	221

6.8.4 Multiprozessoren	222
6.8.5 Software	222
6.8.6 Support	223
6.9 PRISM	223
6.9.1 Architekturüberblick	223
6.9.2 MMU	224
6.9.3 Graphik	225
6.9.4 Software	225
6.10 RISC System/6000 (IBM POWER)	226
6.10.1 Architekturüberblick	226
6.10.2 ICU	226
6.10.3 FXU	227
6.10.3 FPU	228
6.10.4 DCU	228
6.10.5 SCU und Speichermodule	228
6.10.6 I/O-Unit	229
6.10.7 Hardware-Aufwand und Performance	229
6.11 SPARC	230
6.11.1 Architekturübersicht	231
6.11.2 FPU	235
6.11.3 MMU	235
6.11.4 Multiprozessoren	235
6.11.5 Software	236
6.11.6 Support	236
Literatur	237
7 Busse	241
7.1 Charakteristika von Bussen	241
7.1.1 Topologie von Kommunikationspfaden	241
7.1.2 Busstrukturen	243
7.1.3 Bushierarchie	244
7.1.4 Busprotokolle	245
7.2 Busmechanik	248
7.3 Busphysik	250
7.3.1 Elektrische Kenngrößen	250
7.3.2 Aspekte der elektrischen Realisierung	253
7.4 Basisfunktionen eines Busses	255
7.4.1 Arbitrierung	257
7.4.2 Transferoperationen	259
7.4.3 Interrupts	262
7.4.4 Spezielle Protokolle	263
7.4.5 Sonstige Signale und Leitungen	263
7.4.6 Fehlerbehandlung	264
7.4.7 Serieller Zusatzbus	265
7.5 Beispiel: Der Multibus I	265
7.6 Trends bei Bussystemen	269
7.6.1 Höhere Übertragungsrate	269
7.6.2 Datensicherheit	270
7.6.3 Modularität und Flexibilität	270
7.6.4 Standards	270
7.7 Übersicht: Standardbusse	271
7.7.1 AT-Bus	271
7.7.2 EISA	271
7.7.3 FutureBus	272
7.7.4 Micro Channel	272

7.7.5 Multibus I	272
7.7.6 Multibus II	273
7.7.7 NuBus	273
7.7.8 SBus	274
7.7.9 SCSI	274
7.7.10 VMEbus	275
Literatur	278
8 Vernetzung	281
8.1 Einführung	281
8.1.1 Entwicklung vernetzter Rechnerumgebungen	281
8.1.2 Workstations und Vernetzung	282
8.1.3 Klassifikation von Netzwerktypen	283
8.2 Netzwerkarchitektur	285
8.2.1 Topologien von Netzen	286
8.2.2 Das ISO/OSI-Referenzmodell	287
8.2.3 Zugriffssteuerung	291
8.3 Netzwerke	295
8.3.1 Lokale Netzwerke	295
8.3.3 Weitverkehrsnetzwerke	302
8.4 Ausblick	307
Literatur	308
9 Graphik	309
9.1 Einführung	309
9.1.1 Historische Entwicklung	309
9.1.2 Anwendungen und ihre Anforderungen	310
9.2 Von einer abstrakten Datenmenge zum Bild	313
9.2.1 Erfassung und Darstellung von Objekten	313
9.2.2 Koordinatensysteme und Koordinatentransformationen ...	315
9.2.3 Entfernung verdeckter Kanten und Flächen	318
9.2.4 Rendering	319
9.2.5 Bilddarstellung	325
9.2.6 Graphische Standards	328
9.2.7 Anforderungen an die Gesamtarchitektur	330
9.3 Systeme und Klassifizierung	332
9.3.1 Marktentwicklung bei Graphikprozessoren	333
9.3.2 Low End-Graphik	333
9.3.3 Middle Range-Graphik	334
9.3.4 High End-Graphik	334
9.4 Ausblick	338
Literatur	340
10 Massenspeicher	341
10.1 Massenspeicher und Speicherhierarchie	341
10.2 Floppy Disk	342
10.2.1 Funktionsprinzipien	343
10.2.2 Datenaufzeichnung	344
10.3 Magnetische Festplatten	347
10.4 Optische Platten	350
10.5 Magnetbänder	352

10.5.1 1/4" - Kassetten	354
10.5.2 Digitale Aufzeichnung	355
10.6 Spezielle Lösungen	356
10.6.1 Disk Cache	356
10.6.2 Solid State Disks und Wafer Stack	356
10.7 Neue Massenspeicher	357
Literatur	358
11 UNIX als Workstation-Standard	359
11.1 Was ist UNIX?	359
11.2 Entwicklungsgeschichte von UNIX	360
11.3 Standardisierungsbemühungen	362
11.3.1 Standardisierungsgremien und Realisierung der Standards	363
11.3.2 Standardisierung von Applikationssoftware	365
11.4 Sicherheitsaspekte des UNIX-Systems	367
11.4.1 Sicherheitslücken im UNIX-System	368
11.4.2 Kriterien zur Sicherheit von Rechensystemen	371
Literatur	372
12 UNIX aus Benutzersicht	373
12.1 Die Shell	373
12.1.1 Kommandoeingabe	374
12.1.2 Interpretation und Ausführung von Kommandos	376
12.1.3 Einsatz in modernen Systemen	377
12.2 Das X Window System	377
12.2.1 Geschichte und Motivation	377
12.2.2 Aufbau des Systems	379
12.2.3 Eine X-Applikation – der Window Manager	385
Literatur	388
13 UNIX aus Systemsicht	389
13.1 Die Architektur von UNIX	389
13.1.1 Die Struktur des Systemkerns	389
13.1.2 Das Prozeß-Subsystem von UNIX	391
13.1.3 Das File-Subsystem	401
13.1.4 Das Network Filesystem	410
13.2 Verteilte UNIX-Betriebssystemarchitekturen	415
13.2.1 Netzwerk-Betriebssysteme	416
13.2.2 Verteilte Betriebssysteme	417
Literatur	422
14 Ein typisches RISC-System	425
14.1 Die Workstation als System	425
14.2 Der Prozessor der BWS '91	427
14.2.1 Der Modellprozessor BWSP	428
14.2.2 Architekturalternativen für den BWSP	430
14.2.3 Standards	431
14.3 Schnelle Speichermedien	433
14.3.1 Caches	433

14.3.2 Hauptspeicher	435
14.4 Massenspeicher	436
14.4.1 Massenspeicher an der BWS '91	436
14.4.2 Handelsübliche Massenspeicher	437
14.5 Graphik	438
14.6 Langsame Peripherie	439
14.6.1 Serielle Schnittstellen	440
14.6.2 Standard-Busse	440
14.7 Vernetzung und Server	441
14.8 Conclusio	443
15 RISC-Workstations: Produkte	445
15.1 Data General: AViiON – die RISC/UNIX-Rechner	446
15.1.1 Die AViiON RISC/UNIX-Rechnerarchitektur	446
15.1.2 DG/UX das vollsymmetrische UNIX-Mehrprozessorbetriebssystem	450
15.1.3 Zusammenfassung	455
15.1.5 Literatur	456
15.2 Digital Equipment: RISC-Workstations und Server	457
15.2.1 Warum RISC, warum MIPS?	457
15.2.3 RISC-Systeme von Digital Equipment	459
15.2.4 Ausblick	465
15.2.5 Literatur	466
15.3 Hewlett-Packard: Die Arbeitsplatzrechner der Serie 700	467
15.3.1 Rückblick	467
15.3.2 RISC-Strategie	468
15.3.3 Precision Architecture-RISC	469
15.3.4 HP-Workstation-Serie 700	470
15.3.5 Software	476
15.3.6 Compiler	477
15.3.7 Leistungsdaten	477
15.3.8 Zukünftige Entwicklung	478
15.4 IBM: POWERstation und POWERserver	479
15.4.1 Überblick	479
15.4.2 Graphik	481
15.4.3 POWER-Architektur	482
15.4.4 AIX Version 3 für IBM RISC System/6000	492
15.4.5 Schlußbemerkungen	498
15.4.6 Literatur	499
15.5 Siemens Nixdorf: WS30-1000	500
15.5.1 RISC oder CISC?	500
15.5.2 Workstation WS30-1000 von SNI mit RISC-Architektur	501
15.5.3 Workstation WS30-1000: Ganzheitlicher Ansatz	505
15.5.4 Ausblick	508
15.5.4 Literatur	509
15.6 SPARC – RISC-Technologie und Produkte	510
15.6.1 Sun Microsystem's Strategie	510
15.6.2 Die Sun-Produktfamilie	516
Anschriften der Autoren	529
Glossar	531
Sachverzeichnis	547