

Marcus Fischer

Xen

Das umfassende Handbuch



Auf einen Blick

TEIL I: Einleitung

1	Kurzeinstieg	37
2	Klassische Virtualisierung.....	49
3	Moderne Virtualisierung	105
4	Xen	157
5	Voraussetzungen	181
6	Nutzung der beiliegenden Live-CD	197

TEIL II: Die Architektur

7	CPU-Virtualisierung	211
8	Der Hypervisor	253

TEIL III: Xen in der Praxis

9	Installation	311
10	Konfiguration von Xen-Gästen	353

TEIL IV: Administration

11	Management	387
12	Kernel-based Virtual Machine	417
13	Problembehandlung	457
14	FAQ	471
15	Xen-Referenz	481

Anhang

A	Literatur und Quellen	523
B	Glossar	527

Inhalt

Vorwort des Fachgutachters	15
Vorwort des Autors	17
Dank	20
Über mich	20
Buch-Aktualisierungen	21
Leitfaden	23
Aufbau des Buches	24
Zielgruppe	27
Aktualität	32
Verwendete Distributionen	32

TEIL I: EINLEITUNG

1	Kurzeinstieg	37
1.1	Allgemein	37
1.2	Zwei Herzen in einer Brust	38
1.2.1	Paravirtualisierung	38
1.2.2	Hardwarebasierte Virtualisierung	38
1.3	Sinn und Zweck	40
1.3.1	Im professionellen Bereich	40
1.3.2	Für Privatanwender	41
1.4	Herr der Ringe	41
1.5	Eigenschaften	42
1.6	Installation des Wirts	43
1.7	Überall Domains	43
1.8	Verwaltung der Gäste	44
1.8.1	Installation	44
1.8.2	Konfiguration	45
1.8.3	Netzwerke	46
1.8.4	Grafische Oberfläche	47
1.9	Images	48
2	Klassische Virtualisierung	49
2.1	Großrechner	50
2.2	Hardware-Virtualisierung	53
2.2.1	»Atlas« und »Titan«	55

2.2.2	IBM	61
2.2.3	Control Data Corporation	69
2.2.4	Großrechner heute	71
2.3	Virtuelle Varianten	72
2.3.1	Pseudo-Maschine	73
2.3.2	Java Virtual Machine	75
2.4	Software-Virtualisierung	78
2.4.1	Wabi	79
2.4.2	Wine	80
2.5	Zusammenfassung	81
2.5.1	Was ist Virtualisierung?	83
2.5.2	Virtualisierung heute	84
2.6	Exkurs: Betriebssysteme	85
2.6.1	Rückblick	85
2.6.2	Virtualisierungstechniken und Abstraktion	88
2.6.3	Virtuelle Speicherverwaltung	89
2.6.4	Multitasking	93
2.7	Exkurs: Bladeserver	94
2.7.1	Architektur	94
2.7.2	Bladeserver und Virtualisierung	96
2.8	Chronik	96
2.8.1	1951 – 1960	97
2.8.2	1961 – 1970	97
2.8.3	1971 – 1980	99
2.8.4	1981 – 1990	101
2.8.5	1991 – 2000	102
2.8.6	2001 – 2003	103

3 Moderne Virtualisierung 105

3.1	Modern versus Klassisch	105
3.2	Warum überhaupt Virtualisierung?	108
3.2.1	Rechenzeit – immer und überall	108
3.2.2	Veränderte Anforderungen	111
3.2.3	Nutzen und Grenzen der Technik	112
3.2.4	Planungshilfen	113
3.3	Zwei mögliche Einsatzszenarios	114
3.3.1	Server-Konsolidierung	114
3.3.2	Testplattform	119
3.4	Virtualisierung auf Betriebssystemebene	120
3.4.1	Funktionsweise	120

3.4.2	Beispiel: Virtuozzo/OpenVZ	122
3.4.3	Beispiel: User Mode Linux	124
3.4.4	Vor- und Nachteile	128
3.5	Vollständige Virtualisierung	128
3.5.1	Funktionsweise	129
3.5.2	Beispiel: VMware	130
3.5.3	Beispiel: VMware Server	136
3.5.4	Beispiel: Virtual PC/Virtual Server	140
3.5.5	Beispiel: VirtualBox	141
3.5.6	Beispiel: Bochs	142
3.5.7	Beispiel: QEMU	143
3.5.8	Vor- und Nachteile	143
3.6	Paravirtualisierung	144
3.6.1	Vor- und Nachteile	145
3.6.2	Beispiel: Xen	145
3.6.3	Beispiel: Microsoft Server 2008	145
3.7	Hardwarebasierte Virtualisierung	148
3.7.1	Vor- und Nachteile	149
3.7.2	Beispiel: Kernel-based Virtual Machine (KVM)	150
3.8	Überblick	150
3.9	Chronik	152
3.9.1	2003 - heute (2008)	153

4 Xen 157

4.1	Hintergrund	157
4.1.1	Der Name	157
4.1.2	Ursprung	159
4.1.3	Gründe für den Erfolg	161
4.2	Xen-Philosophie	162
4.2.1	Grundlegende Trennung	162
4.2.2	Weniger ist mehr	162
4.3	Zwei Wege zum Ziel	163
4.3.1	Paravirtualisierung	164
4.3.2	Hardwarebasierte Virtualisierung	165
4.4	Funktionsumfang	166
4.4.1	Hardware	166
4.4.2	Konfiguration	167
4.4.3	Management	167
4.4.4	Die Grenzen	168

4.5	Kommerzielle Xen-Produkte	169
4.5.1	XenServer Enterprise	170
4.5.2	XenServer Standard	170
4.5.3	XenServer Express	170
4.6	Roadmap	172
4.6.1	Neuerungen in Xen 3.x	173
4.6.2	Ausblick	174
4.6.3	Kooperation mit Microsoft	175
4.7	Exkurs: NUMA	176
4.8	Der Lebenszyklus einer virtuellen Maschine	177

5 Voraussetzungen 181

5.1	Allgemein	181
5.2	Hardwareunterstützung	182
5.2.1	Prozessoren	184
5.2.2	Arbeitsspeicher	186
5.2.3	Treiber	187
5.2.4	HVM und ACPI	188
5.3	Installationsmöglichkeiten	190
5.4	Live-CDs	193
5.4.1	XenSource	193
5.4.2	Xenopix	194

6 Nutzung der beiliegenden Live-CD 197

6.1	Funktionsweise	197
6.1.1	BIOS	198
6.1.2	Angloamerikanische Notation	200
6.2	Der Wirt	201
6.2.1	Auswahl	201
6.2.2	Anmelden	202
6.3	Die Gäste	203
6.3.1	Erstellen	203
6.3.2	Löschen	205
6.3.3	Verwaltung	205
6.3.4	Netzwerk	206

TEIL II: DIE ARCHITEKTUR

7	CPU-Virtualisierung	211
7.1	Allgemein	211
7.2	Die x86-Architektur	212
7.2.1	Entwicklung	213
7.2.2	Real Mode	214
7.2.3	Protected und Enhanced Mode	216
7.3	Exkurs: Das erste Betriebssystem für Intel-CPU's	218
7.4	Exkurs: Hyperthreading	219
7.5	Popek-Goldberg-Theorem	220
7.5.1	Rechnerzustand	221
7.5.2	Instruktionen	223
7.5.3	Hypervisor	225
7.6	Die Ringe	225
7.6.1	Generelles Problem bei x86-Virtualisierung	226
7.6.2	Möglichkeiten der x86-Virtualisierung	227
7.6.3	Machtmissbrauch	228
7.6.4	Ungenutzte Ringe	229
7.7	Intel VT-x und AMD-V	230
7.7.1	Deprivilegieren	231
7.7.2	Welche Prozessoren bieten diese Technik?	232
7.7.3	Gründe für Performance-Probleme	232
7.7.4	Pacifica und Vanderpool sind inkompatibel	234
7.7.5	Nested Page Tables	235
7.7.6	I/O-Virtualisierung	235
7.7.7	Zusammenfassung	236
7.8	Exkurs: Intel VT im Detail	237
7.8.1	VMX-Operationen	238
7.8.2	Initialisierung	239
7.8.3	Virtual Machine Control Structure (VMCS)	240
7.8.4	VT-i vs. VT-x	242
7.9	Exkurs: AMD-V im Detail	243
7.9.1	SVM-Operationen	244
7.9.2	Initialisierung	246
7.9.3	Virtual Machine Control Block (VMCB)	246
7.9.4	Virtualisierter Speicher-Controller	248
7.9.5	Paged Real Mode	249
7.9.6	Device Exclusion Vector	249
7.9.7	Integriertes Trusted Computing	250
7.10	AMD kontra Intel	252

8 Der Hypervisor 253

- 8.1 Übersicht 253
- 8.2 Hardware 255
- 8.3 Hypercalls 256
- 8.4 Der Kernel 258
 - 8.4.1 Privilegierte Befehle 262
 - 8.4.2 Ereignisse 263
 - 8.4.3 Fast System Calls 265
- 8.5 Kommunikation 266
 - 8.5.1 Aufteilung von Speicherseiten 268
 - 8.5.2 Datentransfer zwischen Domains 273
 - 8.5.3 I/O-Ringe 274
- 8.6 Speicherverwaltung 276
 - 8.6.1 Aufbau der Segmente 276
 - 8.6.2 Virtueller Speicher 280
 - 8.6.3 Balloon Treiber 284
 - 8.6.4 Andere Speicherverfahren 286
- 8.7 Eine neue VM-Instanz erstellen 291
- 8.8 Treiber 294
 - 8.8.1 Allgemein 294
 - 8.8.2 Das Split-Treibermodell 297
- 8.9 Gemeinsame Informationsseiten 301
 - 8.9.1 Start Info Page 303
 - 8.9.2 Shared Info Page 306

TEIL III: XEN IN DER PRAXIS

9 Installation 311

- 9.1 Die Qual der Wahl 311
 - 9.1.1 Der richtige Wirt 311
 - 9.1.2 Welche Gäste kann ich installieren? 312
- 9.2 Voraussetzungen 312
 - 9.2.1 Paravirtualisierung 313
 - 9.2.2 Hardwarebasierte Virtualisierung 314
 - 9.2.3 GRUB-Konfiguration und Bootparameter 315
 - 9.2.4 xend 318
- 9.3 Installation der Binärpakete 319
- 9.4 Installation auf .deb-basierten Distributionen 321
 - 9.4.1 Debian 321
 - 9.4.2 Ubuntu 325

9.5	Installation auf .rpm-basierten Distributionen	331
9.5.1	Red Hat	331
9.5.2	Fedora	332
9.5.3	CentOS	346
9.5.4	SLES und OpenSUSE	350

10 Konfiguration von Xen-Gästen 353

10.1	Konfigurationsdateien	353
10.1.1	Anlegen der Konfigurationsdateien	354
10.1.2	Variablen	357
10.2	Verwendung von Images	358
10.3	Netzwerktechnik	359
10.3.1	Grundlagen	360
10.3.2	Initialisieren	362
10.3.3	Netzwerktest	364
10.3.4	Routed Network	365
10.3.5	Bridged Network	366
10.3.6	Netzwerküberwachung	370
10.3.7	Domain Name Server	372
10.4	Speicherplatz	373
10.4.1	Dateien	373
10.4.2	Logical Volume Manager	374
10.4.3	NFS	377
10.5	Tipps und Tricks	379
10.5.1	Windows	379
10.5.2	NetBSD	382

TEIL IV: ADMINISTRATION

11 Management 387

11.1	Virtual Machine Manager	387
11.2	virt-install	404
11.3	Management-Produkte	406
11.4	Hochverfügbarkeit	407
11.5	Sicherheit	408
11.6	Überwachung	409
11.7	Spezielle Hardware	412
11.8	Migration von virtuellen Maschinen	413

12 Kernel-based Virtual Machine 417

12.1	Übersicht	417
12.1.1	Funktionsweise	419
12.1.2	Voraussetzungen	421
12.2	Grundsätzliche Installation	422
12.2.1	Distributionspakete	423
12.2.2	Quellen kompilieren	425
12.2.3	Module laden	426
12.3	Installation von Gästen	426
12.3.1	Windows XP	427
12.3.2	Windows Vista	428
12.3.3	Ubuntu 8.04	429
12.4	Fortgeschrittene Netzwerkeinrichtung	429
12.4.1	Bridging	430
12.4.2	Mehrere virtuelle Netzwerke	432
12.4.3	NAT und Bridging	434
12.5	Ubuntu und KVM	439
12.5.1	Eine spezielle Verbindung	440
12.5.2	8.04 »Hardy Heron« LTS	441
12.6	Virtuelle VMware-Maschinen nutzen	455
12.6.1	Vorgehensweise	455

13 Problembehandlung 457

13.1	Werkzeuge	457
13.2	Protokollverzeichnisse	458
13.3	Protokolldateien	459
13.3.1	xend.log	459
13.3.2	xend-debug.log	460
13.3.3	xen-hotplug.log	460
13.3.4	qemu-dm.[PID].log	460
13.3.5	Bootmeldungen anzeigen	461
13.4	Die Konsole	461
13.4.1	Bei paravirtualisierten Gästen	462
13.4.2	Bei hardwarebasierter Virtualisierung	463
13.5	Zugriff auf die Daten der virtuellen Maschinen	463
13.6	SELinux	464
13.7	Hilfe aus dem Netz	465
13.7.1	Hardwarekompatibilität	465
13.7.2	Mailingliste	466

13.7.3	Foren	467
13.7.4	IRC	467
13.8	KVM	467
13.8.1	Wiki	467
13.8.2	Distributions-spezifisch	467
13.8.3	Homepage	468
13.8.4	Mailingliste	468
13.9	VMware	468
13.10	Andere Betriebssysteme	469
13.10.1	BSD	469
13.10.2	OpenSolaris	469

14 FAQ 471

14.1	Allgemein	471
14.1.1	Was ist (Server-)Virtualisierung?	471
14.1.2	Wofür steht der Begriff »Xen«?	472
14.1.3	Welche Betriebssysteme werden unterstützt?	472
14.1.4	Ist Xen besser als VMware?	473
14.1.5	Gibt es Alternativen?	473
14.1.6	Was geht, was geht nicht?	474
14.2	Probleme beim Booten	475
14.2.1	Es sind keine Konsolen verfügbar	475
14.2.2	Falscher Kernel	475
14.3	Probleme mit der grafischen Konsole	476
14.3.1	Der Mauszeiger ist nicht synchronisiert	477
14.3.2	Die Auflösung des Wirts ändert sich	477
14.4	Netzwerk	477
14.4.1	Probleme mit der Namensauflösung	477
14.5	Probleme mit xend	478
14.6	Probleme mit xm	479

15 Xen-Referenz 481

15.1	xm	481
15.1.1	Erstellen und Verwalten von Domains	485
15.1.2	Überwachung und Diagnose	491
15.1.3	Konfiguration der Zugriffskontrolle	496
15.2	Die Konfigurationsdatei xmdomain.cfg	500
15.3	Der Xen-Daemon xend	510
15.4	virt-manager	512

15.5	Xen-Tools (Debian)	513
15.6	virsh	514
15.6.1	Allgemein	514
15.6.2	Informationen	517
15.6.3	Konfiguration der Gäste	519
Anhang		521
A	Literatur und Quellen	523
B	Glossar	527
	Index	541

*»If you can touch it and you can see it, it's REAL.
If you can touch it but you can't see it, it's TRANSPARENT.
If you can't touch it but you can see it, it's VIRTUAL.
If you can't touch it and you can't see it, it's GONE.«*

(Unbekannte Quelle)

Vorwort des Autors

Was ist Virtualisierung?

In der Anfangszeit der Computertechnik war die Arbeit mit dem Computer wie das Leben in einem zu engen Raum. Die Bewegungsfreiheit war stark eingeschränkt und der Anwender konnte auf seinem PC immer jeweils nur ein Programm laufen lassen. Der Wunsch nach gleichzeitiger Arbeit von zwei Programmen erforderte den Kauf von zwei Computern.

Niemand wunderte sich über dieses Vorgehen, bis eine neue Technologie namens »Multitasking« alles bisher Dagewesene revolutionierte. Der Anwender brauchte ab diesem Zeitpunkt nur noch einen einzigen Computer, und das Betriebssystem versetzte ihn in die Lage, mehrere Programme gleichzeitig auszuführen; der Raum wurde spürbar größer und die Bewegungsfreiheit nahm stark zu. Niemand wird heutzutage freiwillig auf diese Technik verzichten, wenn er gleichzeitig mit einem Browser im Internet recherchieren und mit einer Textverarbeitung Dokumente verfassen kann. Ein Leben ohne Multitasking scheint heutzutage unvorstellbar.

Der Begriff »Multitasking« haucht einem anderen Begriff Leben ein: dem der »Virtualisierung«. Wenn mehrere Anwendungen scheinbar gleichzeitig auf einen Prozessor zugreifen, wird beiden jeweils ein eigener Prozessor vorgetauscht. Man spricht davon, dass der Prozessor »virtualisiert« wird. Aus einem realen Prozessor werden zwei virtuelle.

Server-Virtualisierung

Führt man diesen Gedanken fort, so gelangt man unweigerlich zu dem eigentlichen Thema dieses Buchs. Vom Virtualisieren einzelner Bestandteile eines Computers ist es nur ein kleiner Schritt zur Virtualisierung eines gesamten Computers. Analog zum Multitasking verwenden hierbei mehrere Betriebssysteme einen einzigen realen Computer. Allerdings wird jedem dieser Betriebssysteme hierbei ein jeweils eigenes System vorgetauscht.

Wir sprechen in diesem Fall von einer *Server-Virtualisierung*. Durch diese wird die Infrastruktur der Rechenzentren teilweise auf den Kopf gestellt. Aber der Einsatz dieser Technik lohnt sich für Firmen, denn die Kosteneinsparungen bei Hardware und Betrieb sowie der geringere Administrationsaufwand sind stellenweise enorm. Seriöse Studien gehen davon aus, dass durch Server-Virtualisierung sechs von sieben Servern überflüssig werden könnten – ohne Einbußen bei Sicherheit und Verfügbarkeit.

Für Privatanwender und Administratoren

Heutzutage müssen wir die Bedürfnisse von Privatanwendern und professionellen Administratoren streng unterscheiden. Für beide ist die Virtualisierung jedoch ein unverzichtbarer Bestandteil der täglichen Arbeit geworden.

Auch Privatanwender können von einer Server-Virtualisierung profitieren. So machte im Laufe der letzten Jahrzehnte die Entwicklung neuer Betriebssysteme immer größere Sprünge. Dies führte unweigerlich dazu, dass Betriebssysteme ganz oder teilweise inkompatibel zu ihren Vorgängern wurden; Programme funktionieren heute größtenteils nur auf einem bestimmten Betriebssystem, und so muss sich der Anwender in der Regel für eines dieser Betriebssysteme entscheiden.

Dieser Umstand kann zu einigem Ärger führen, wenn das bisher verwendete Betriebssystem aufgrund seines fortgeschrittenen Alters nicht mehr vom Hersteller unterstützt wird und der Nachfolger mit der teuer erkauften Software nicht zurechtkommt. Ein weiterer dankbarer Nutzer wäre der sicherheitsbewusste Anwender, der die Sicherheit und Stabilität von Linux zu schätzen weiß, aber aus bestimmten Gründen nicht auf Windows-Software verzichten mag oder kann. Dem Systemadministrator, der seine Server ausreizen will, muss ich die Vorzüge der Virtualisierung an dieser Stelle wohl nicht mehr explizit erläutern.

In Analogie zum oben genannten Multitasking läuft auf den meisten Rechnern nur ein Betriebssystem zu einer Zeit. Sie können zwar mehrere Betriebssysteme gleichzeitig installiert haben, aber um zwischen diesen zu wechseln, müssen Sie den Computer neu starten und das jeweilige während des Bootens auswählen. Hier wünscht man sich eine Technik, die einen von den beschriebenen Fesseln befreit. Und genau an dieser Stelle kommt Xen ins Spiel.

Modethema Virtualisierung

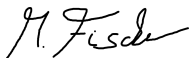
Das Thema »Virtualisierung« ist mehr als vierzig Jahre alt, aber erst in den letzten Jahren eroberte die Server-Virtualisierung zunehmend den privaten und geschäftlichen Bereich.

Xen ist hierbei eine freie und kostenlos verfügbare Technologie, die sehr leistungsfähig ist und eine breite Unterstützung durch die Industrie erfährt.

Bestandteil von Betriebssystemen

Die Server-Virtualisierung wird in einigen Jahren fester Bestandteil vieler Betriebssysteme sein (stellenweise ist dies schon der Fall) und den Anwendern eine ähnliche Bewegungsfreiheit ermöglichen wie seinerzeit das Multitasking. Die Technik wird dabei immer mehr in den Hintergrund rücken, und zukünftige Anwender werden wie selbstverständlich Programme in teilweise virtualisierten Umgebungen installieren, ohne sich der zugrunde liegenden Technik bewusst zu sein.

Ich möchte Ihnen in diesem Buch einen Überblick über Virtualisierung im Allgemeinen und Xen im Besonderen geben. Sie werden die faszinierenden Möglichkeiten dieser Technik kennenlernen, aber auch die Grenzen. Das Buch richtet sich gleichermaßen an Systemadministratoren, die einen oder mehrere Server im professionellen Umfeld verwalten, und an private Anwender, die sich detailliert mit Virtualisierung auseinandersetzen möchten.



*»Nicht das Beginnen wird belohnt,
sondern einzig und allein das Durchhalten.«*

*Katharina von Siena (1347–1380),
italienische Mystikerin und Kirchenlehrerin*

1 Kurzeinstieg

Was Sie in diesem Kapitel erwartet

Bevor wir in die Tiefen der Virtualisierung mit Xen einsteigen, soll Ihnen dieses Kapitel einen Kurzeinstieg in die Materie ermöglichen. Ich möchte Ihnen hier einen komprimierten Überblick geben, was Xen genau ist und was Sie damit erreichen können.

Auf diese Weise können Sie sich auf wenigen Seiten in knapper Form über die Hintergründe und den Nutzen von Xen informieren, ohne das gesamte Buch durchlesen zu müssen. Ich verweise dabei an einzelnen Stellen auf weiterführende Informationen im Buch.

Benötigtes Vorwissen

Es sind keine Vorkenntnisse nötig.

1.1 Allgemein

Seit 2006 beherrscht ein Modewort die Informatik: »Virtualisierung«. Auch wenn die Ursprünge dieser Technik einige Jahrzehnte alt ist, steigt das Interesse an dieser Technik in den letzten Jahren enorm. Dabei beginnt seit 2007 auf dem Markt die zunehmende Konsolidierung und Konzentration auf einige wenige Anbieter.

Software-Firmen wie IBM, VMware, Innotek, Parallels gehören zu den eher »alten Hasen«, während inzwischen beispielsweise auch Microsoft oder Sun ihr Stück vom Kuchen haben möchten.

Open Source

Unter allen technischen Möglichkeiten hat sich eine Open-Source-Lösung etabliert: die freie Virtualisierungssoftware Xen. Xen ist inzwischen Bestandteil fast

aller Linux-Distributionen oder aber zumindest ihrer Paketquellen geworden. Und sogar die Integration in den Linux-Kernel steht für 2009 auf der Agenda.

Herkunft

Xen wurde ursprünglich an der Universität Cambridge unter der Leitung von Ian Pratt entwickelt, bevor die daraus entstandene Firma XenSource 2007 von Citrix gekauft wurde. Citrix bietet inzwischen eine ganze Reihe von kommerziellen Produkten rund um Xen an, während die Technik selbst frei verfügbar und unter den Bedingungen der GPL weiterentwickelt wird.

[+] Sie erfahren mehr über die Herkunft von Xen in Kapitel 4, »Xen«, ab Seite 157.

1.2 Zwei Herzen in einer Brust

Xen verfolgt zur Virtualisierung von x86-Architekturen zwei verschiedene Konzepte, die hardwarebasierte und Paravirtualisierung.

1.2.1 Paravirtualisierung

Mithilfe der Paravirtualisierung laufen die virtuellen Maschinen (Gastbetriebssysteme) mit beinahe unverminderter Geschwindigkeit auf den klassischen x86-Systemen. Man spricht von einer vernachlässigbaren Leistungseinbuße von 2–3 Prozent, die die Gäste langsamer laufen als der Wirt. Die Gastbetriebssysteme müssen allerdings angepasst werden, um diese Leistungsfähigkeit zu erreichen. Dies ist bei geschlossenen Betriebssystemen (beispielsweise Microsoft Windows) nicht möglich. An dieser Stelle kommt die hardwarebasierte Virtualisierung ins Spiel (siehe nächster Abschnitt).

Diese Variante beschränkt sich in erster Linie darauf, Ressourcen Ihres Rechners wie beispielsweise CPU-Zeit, Speicher oder Netzwerkbandbreite zu verwalten und den verschiedenen virtuellen Maschinen zuzuweisen. Die Arbeitsweise von Xen's Paravirtualisierung ähnelt hierbei der des ESX-Servers von VMware.

[+] Sie erfahren mehr über die Architektur und Arbeitsweise von Xen im Architekturteil dieses Buchs ab Seite 209.

1.2.2 Hardwarebasierte Virtualisierung

Bei der hardwareunterstützten Virtualisierung spricht man auch von vollständiger oder nativer Virtualisierung. Wenngleich sich diese Bezeichnung nach einer Steigerung der Paravirtualisierung anhört, so ist sie doch ein Rückschritt, wenn man sich die Leistungsfähigkeit der virtuellen Maschinen ansieht.

Bei der vollständigen Virtualisierung muss noch mehr von der Hardware des Wirts virtualisiert werden. Xen emuliert hierbei die komplette Hardware und funktioniert damit ähnlich wie die VMware-Workstation oder Microsofts VirtualPC.

Bei dieser Art der Virtualisierung ist allerdings die Leistungsfähigkeit deutlich eingeschränkt gegenüber der Paravirtualisierung. Man spricht von Leistungseinbußen in Höhe von 10 bis 15 Prozent.

Mit dieser Leistungseinbuße erkaufte man sich allerdings die Fähigkeit, nicht anpassbare Betriebssysteme wie Microsoft Windows zu als Gastsysteme zu installieren, da durch die vollständige Virtualisierung keine Modifikationen am Kernel des Gastbetriebssystems notwendig sind.

Spezielle Prozessoren

Um die hardwarebasierte Virtualisierung zu nutzen und damit Windows als Gastsystem ausführen zu können, benötigen Sie allerdings spezielle Hardware. Essentiell ist hierbei ein relativ moderner Prozessor, der für Virtualisierungszwecke einen erweiterten Befehlssatz integriert hat. Intel hat diese unter dem Namen »Vanderpool« (Intel VT) herausgebracht, bei AMD wird die entsprechende Technik mit der Bezeichnung »Pacifica« (AMD-V) betitelt.

Sie erfahren mehr über diese speziellen Prozessoren in Kapitel 7, »CPU-Virtualisierung«, ab Seite 211.

[+]

Erweiterung bei Intel-Prozessoren

Um herauszufinden, ob Ihr Intel-Prozessor den erweiterten Befehlssatz bereits integriert hat, reicht die Abfrage der CPU-flags:

```
user$ grep vmx /proc/cpuinfo
```

Listing 1.1 Abfrage bei Intel

Erweiterung bei AMD-Prozessoren

Bei einem AMD-Prozessor sieht die Abfrage folgendermaßen aus:

```
user$ grep svm /proc/cpuinfo
```

Listing 1.2 Abfrage bei AMD

Bleibt die Ausgabe leer, wird diese Technik leider nicht unterstützt und Sie müssen auf die vollständige (hardwarebasierte) Virtualisierung verzichten. Dennoch steht einer Paravirtualisierung nichts im Wege.

1.3 Sinn und Zweck

Wenn Sie sich mit Virtualisierung beschäftigen möchten, stehen zu Beginn Fragen wie »*Welcher Nutzen bietet sich mir als Administrator oder Privatanutzer durch die Virtualisierung (mit Xen)?*«

1.3.1 Im professionellen Bereich

Moderne Rechenzentren haben mit vielfältigen Problemen zu kämpfen. Die Server brauchen eine Unmenge an Strom für den eigentlichen Betrieb und der notwendigen Kühlung. Die Gefahren für Server, die Dienste über das Internet anbieten oder aber von außen verwundbar sind, ist in den letzten Jahren enorm angewachsen. Dadurch hat sich die Menge der vorhandenen Server nicht nur am realistischen Bedarf gerichtet, sondern auch durch Ausfallkonzepte drastisch zugenommen. Damit einhergehend nimmt der Administrationsaufwand stetig zu. Nicht zuletzt der weiter steigende Platzbedarf ist ein nicht zu unterschätzender Kostenfaktor.

Konsolidierung

Angesichts der immer weiter steigenden Preise für Energie, Personal und Platz macht es durchaus Sinn, sich wiederholt über Einsparungen Gedanken zu machen. Das Zauberwort lautet in diesem Zusammenhang Konsolidierung.

Bei Ausfällen

Xen bietet eine hervorragende Möglichkeit, um Server zu konsolidieren und mehrere von ihnen als virtuelle Maschinen auf einem Host zu betreiben. Zum Zwecke der Hochverfügbarkeit lassen sich einzelne virtuelle Maschinen bei einem Ausfall der Hardware oder bei sicherheitsrelevanten Verwundungen während des Betriebs migrieren. Hierzu reicht es oftmals, wenn man einen einzelner Server als Backups-System betreibt.

Bei Wartungsarbeiten

Diese Migration kann aber auch bei ganz profanen Tätigkeiten sehr hilfreich sein. So können Ausfallzeiten wegen notwendiger Wartungsarbeiten der Vergangenheit angehören. Sie können vor Beginn der Wartung die virtuelle Maschine auf einen anderen Server migrieren und nach Beendigung Ihrer Tätigkeit wieder zurück auf das ursprüngliche System.

Gewaltenteilung

Ein weiterer Einsatzbereich erschließt sich in Sicherheitsfragen. So ermöglicht Xen den sicheren Betrieb mehrerer Netzwerkdienste wie Web-, Mail- oder Fileserver auf einem einzigen Host. Die Dienste werden einfach in getrennten virtuellen Maschinen installiert und sind somit gegeneinander abgeschottet. Die übliche Praxis ist hier bisher, dass entweder

- ▶ die Systeme physikalisch getrennt auf unterschiedlichen Servern laufen (erhöhter Strom-, Wartungs- und Platzbedarf) oder dass
- ▶ die Netzwerkdienste gemeinsam nativ auf einem Server laufen.

Gerade letzteres führte oftmals zu einem Fiasko, wenn ein kompromittierter Dienst andere eigentlich von ihm unabhängige Dienste in Mitleidenschaft zog.

1.3.2 Für Privatanwender

Aber auch Privatanwender können von der Virtualisierung mit Xen profitieren. Wenn Sie beispielsweise parallel zu Ihrem produktiv eingesetztem Linux-System eine Windows-Installation benötigen oder lediglich eine andere Linux-Distribution ausprobieren möchten, so kann Ihnen Xen hierbei eine große Hilfe sein. Sie installieren das gewünschte System einfach als virtuelles System, das Sie im Anschluß an Ihre Untersuchungen bequem wieder entfernen können. Bei alledem wird das ursprüngliche produktiv eingesetzte System nicht berührt.

1.4 Herr der Ringe

Moderne Prozessoren kennen vier Sicherheitsstufen, die man sich bildlich als Ringe vorstellen kann. Hierbei ist nur aus dem innersten Ring, dem Ring 0, ein direkter Zugriff auf die Hardware und bestimmte Speicherbereiche möglich. Aus den Ringen 1–3 heraus ist ein solcher Zugriff nicht möglich.

Aus diesem Grund operiert im Ring 0 üblicherweise der Kernel eines Betriebssystems. Die Ringe 1 und 2 werden bei x86-Architekturen nicht verwendet, Ring 3 ist Heimat für die Benutzerapplikationen. So wird sichergestellt, dass ein normaler Anwender keine systemkritischen Zugriffe tätigen kann.

Bei einem 32-Bit-System verschiebt der Hypervisor den Kernel aus Ring 0 in Ring 1

(siehe Abbildung 1.1). Bei einem 64-Bit-System muss sich der Kernel mit den Anwendungen den Ring 3 teilen.

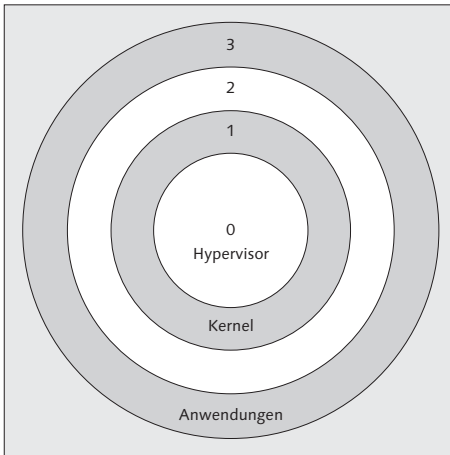


Abbildung 1.1 Das Sicherheitsmodell (Visualisierung als Ringe) moderner Prozessoren (32-Bit) und die Einbettung des Xen-Hypervisors.

Angepasster Gast-Kernel

Auf einem Xen-System läuft anstelle des Kernels ein Hypervisor direkt im eigentlichen Kernel-Ring, dem Ring 0. Die virtuellen Gastmaschinen des Systems operieren im Ring 1 und müssen jeden privilegierten Zugriff (*Systemaufrufe*) über den Hypervisor im Ring 0 anfordern.

Diese veränderte Arbeitsweise des Gastbetriebssystems erfordert eine Modifikation an dessen Kernel. Dies ist bei Closed-Source-Betriebssystemen wie Microsoft Windows selbstverständlich nicht möglich, sodass sich lediglich Systeme mit offenem Quellcode paravirtualisieren lassen. Hierzu zählen neben Linux diverse BSD-Varianten und (Open-)Solaris.

- [»]** Im Übrigen betreffen die Modifikationen ausschließlich den Kernel des Gasts. Dessen Anwendungen laufen wiederum im Ring 3, sodass an diesen keine Veränderungen notwendig sind – sie laufen unverändert in einem Xen-System.
- [+]** Sie erfahren mehr über die Konzeption der Sicherheitsstufen in Kapitel 7, »CPU-Virtualisierung«, ab Seite 211.

1.5 Eigenschaften

Xen unterliegt einer sehr dynamischen Entwicklung, die grundlegenden Features sind inzwischen aber ausgereift. Sie können beispielsweise während der Laufzeit die Größe des zugeteilten Arbeitsspeichers verändern oder ohne Unterbrechung einen physikalischen Host auf ein anderes System übertragen (Live-Migration).

1.6 Installation des Wirts

So ziemlich alle aktuellen Linux-Distributionen haben die notwendigen Pakete für Xen bereits integriert oder halten diese zumindest in den Paketquellen vor. Die Installation ist dabei größtenteils sehr einfach, wenngleich man bei manchen Distributionen mitunter das Gefühl hat, dass die Integration von Xen eher halbherzig realisiert wurde.

Hier bemerkt man, dass Virtualisierung im Allgemeinen und Xen im Besonderen ein Modethema ist und die Distributionen sich nur zu gerne mit einer solchen Feder schmücken.

Halbherzige Integration

Eher halbherzig fällt die Integration von Xen bei Ubuntu und Fedora aus, während die Unterstützung bei Red Hat, CentOS, Debian und SUSE teilweise vorbildlich ist. Gerade die ersten beiden genannten Distributionen kämpfen allerdings mit einem sehr kurzen Veröffentlichungszyklus (halbjährlich), sodass kaum Zeit für eine saubere Integration bleibt.

Allerdings ist es unverständlich, dass eine speziell für den Unternehmenseinsatz und Serverbetrieb ausgelegte Version wie Ubuntu 8.04 LTS im Xen-Betrieb einige verzichtbare Schwächen aufweist. Dennoch ist auch mit Ubuntu ein performanter Xen-Betrieb möglich, wenn auch mit mit einigen kleinen Stolpersteinen.

Sie erfahren mehr über die Installation der Quell- sowie der Distributionspakete von Xen in Kapitel 9, »Installation«, ab Seite 311. **[+]**

1.7 Überall Domains

Die Xen-Terminologie unterscheidet zwischen privilegierten und unprivilegierten Domains.

Domain 0

Die erste virtuelle Maschine fungiert unter dem Namen *Domain 0* (dom0, privilegierte Domain) und stellt das auf dem Rechner installierte Wirtbetriebssystem dar – den Host. Allerdings ist diese Maschine nicht so virtuell, wie die Bezeichnung es vermuten lässt. Die Gefahr, die von einer kompromittierten Domain 0 ausgeht, ist durchaus real.

Domain U

Die Domain 0 dient ausschließlich als Verwaltungssystem für die zu installierenden Gäste, wobei ein Gast mit *Domain U* (domU, unprivilegierte Domain) bezeichnet wird. Die dom0 ist quasi lediglich der Wirt für seine Gäste und sollte daher möglichst schlank gehalten werden.

So schlank wie möglich

Genauer gesagt sollten in der Domain sowenig öffentliche Dienste wie möglich laufen. Wenn es einem Angreifer gelingt, in diese Domain einzubrechen, sind automatisch alle domUs ebenfalls in Gefahr. Somit wäre es ratsam, wenn in der Domain 0 ausschließlich ein SSH-Server als Netzwerkdienst läuft, um ihn remote verwalten zu können.

1.8 Verwaltung der Gäste

Die Installation und Verwaltung von Xen-Host und den dazugehörigen Gästen gelingt am einfachsten mit einigen wenigen Werkzeugen auf der Kommandozeile. Auch wenn es inzwischen einige grafische Verwaltungswerkzeuge auf dem Markt gibt, bietet die Verwaltung über die Kommandozeile eine Stabilität, von der die meisten grafischen Werkzeuge noch sehr weit entfernt sind.

1.8.1 Installation

Die Installation der Gäste gelingt am einfachsten mit dem Kommandozeilenwerkzeug *virt-install*. Es erzeugt eine Konfigurationsdatei im Verzeichnis */etc/xen*, die später von *xm* zur Verwaltung benötigt wird (siehe folgender Abschnitt).

Sie haben beim Anlegen neuer virtueller Maschinen grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

- ▶ Entweder Sie rufen das Programm mit einer Reihe von Optionen auf, um beispielsweise den Namen, die Art der Virtualisierung, die Größe des Arbeitsspeichers usw. zu definieren oder
- ▶ Sie lassen sich von *virt-install* in einem Dialog einige Fragen stellen, um die neue virtuelle Maschine zu kreieren.

Sie können im Übrigen das Gastsystem nicht nur in eine Image-Datei installieren, sondern auch in eine reale Partition oder ein *Logical Volume*.

- [+]** In Abschnitt 11.2, »virt-install«, ab Seite 404 gehe ich detailliert auf dieses Werkzeug zum Installieren von virtuellen Maschinen ein.

1.8.2 Konfiguration

Nach dem Start der Domain 0 können Sie mit dem Xen-Management (*xm*) bereits bestehende Gastsysteme verwalten. Mithilfe von *xm* können Sie die Gäste starten, stoppen, in den Ruhezustand schicken, migrieren oder auch konfigurieren. Sie sind mit diesem umfassenden Werkzeug sogar in der Lage, die Ressourcen Ihrer Gäste wie beispielsweise die Größe des Arbeitsspeichers dynamisch, also während der Laufzeit, zu verändern.

In Kapitel 15, »Referenz«, ab Seite 481 finden Sie eine umfassende Befehlsreferenz, unter anderem von *xm*.

[+]

Grundlegende Befehle

Nach der Installation mit *virt-install* können Sie mit

```
root$ xm create <NAME>
```

Listing 1.3 Start der Domain <NAME>

die erstellte Domain starten. Für eine Verbindung auf der Konsole eignet sich

```
root$ xm console <NAME>
```

Listing 1.4 Verbindung mit <NAME> herstellen

Wie bereits erwähnt, können Sie während der Laufzeit des Systems die Ressourcen dynamisch zuweisen. So erhöhen Sie beispielsweise durch

```
root$ xm mem-set 512 <NAME>
```

Listing 1.5 Dynamische Erhöhung des Arbeitsspeichers für <NAME>

den für die Domain <NAME> zur Verfügung stehenden Arbeitsspeicher auf 512 MB. Auch das Speichern (Pausieren) von Domains ist kein Problem:

```
root$ xm save <NAME>
```

Listing 1.6 Speichern einer Domain

Wenn Sie eine solche gespeicherte Domain fortführen möchten, verwenden Sie den folgenden Befehl:

```
root$ xm restore <NAME>
```

Listing 1.7 Fortführen einer Domain

Bei paravirtualisierten Domains ist sogar eine Live-Migration von einer auf den anderen Host möglich, d. h. Sie haben keinen Ausfall und verschieben die Domain während der Laufzeit:

```
root$ xm migrate --live <NAME> <HOST>
```

Listing 1.8 Migrieren einer Domain

Ein sauberes Herunterfahren einer Domain initiieren Sie mit

```
root$ xm shutdown <NAME>
```

Listing 1.9 Herunterfahren einer Domain

Diese Befehle geben Ihnen einen kurzen Überblick über den Umgang mit *xm*. Sie können statt dem Namen der Domain selbstverständlich auch jeweils deren ID angeben, die Sie durch

```
root$ xm --list
```

Listing 1.10 Anzeigen aller Domains inklusive deren ID

herausfinden können.

1.8.3 Netzwerke

Xen verwendet in der Netzwerkkonfiguration bei allen neu installierten Gästen einen bestimmten Standard: Der Gast ist über eine *Bridge* direkt mit der Netzwerkkarte *eth0* verbunden. Somit besteht für den Gast ein direkter Zugang zu demselben Netzwerk, in dem sich auch der Host befindet.

Xen erlaubt selbstverständlich auch das Erstellen recht komplexer Routingverfahren, wenn Sie beispielsweise einige Domains zu einem virtuellen Netzwerk miteinander verbinden möchten.

Konfigurationsdatei

Über die Konfigurationsdatei */etc/xen/xend-config.sxp* haben Sie vollen Zugriff auf sämtliche Einstellungen bezüglich Netzwerk.

[+] In Abschnitt 10.3, »Netzwerktechnik«, ab Seite 359 gehe ich näher auf die Konfiguration von Xen-Netzwerken ein.

1.8.4 Grafische Oberfläche

Das Werkzeug *virt-manager*, der »Virtual Machine Manager« (VMM), ermöglicht einen grafischen Überblick über die vorhandenen Domains und lässt ebenfalls viele Verwaltungsaufgaben mithilfe einer grafischen Oberfläche zu.

Umfangreiche Möglichkeiten

Mit dem VMM können sie jede beliebige Anzahl von Management-Aufgaben durchführen, inklusive der Zuweisung von Speicher, der Zuweisung virtueller CPUs, der Überwachung von Leistung im laufenden Betrieb. Weiterhin können Sie virtuelle Systeme speichern, wiederherstellen, aussetzen, fortsetzen und herunterfahren. Sie haben außerdem Zugriff auf die Text- und grafische Konsole.

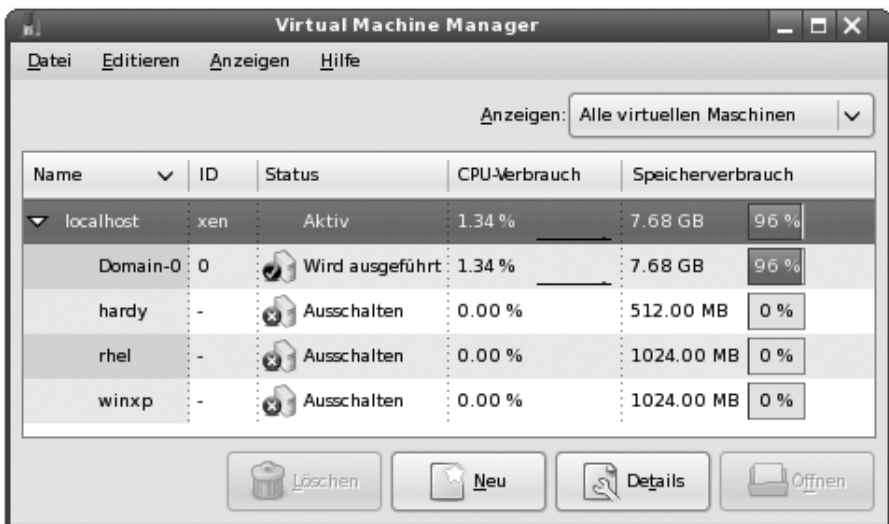


Abbildung 1.2 Der Virtual Machine Manager bietet eine grafische Oberfläche zur Verwaltung von Xen-Instanzen.

Obwohl der VMM nur eine Möglichkeit von vielen ist und keine fortgeschrittenen Möglichkeiten wie beispielsweise das Provisioning bietet, hat es einige wichtige Vorteile:

- ▶ Das Programm wird bei den meisten Linux-Distributionen standardmäßig installiert, wenn Sie Xen einrichten.
- ▶ Es wird von Red Hat finanziell unterstützt und unterliegt durch die enge Integration in Fedora und Red Hat einer strikten Qualitätskontrolle.

- ▶ Der VMM ist in Python geschrieben und kommuniziert durch die enge Anbindung an die *libvirt* mit dem darunterliegenden Hypervisor. Diese Art der Kommunikation ermöglicht eine Unabhängigkeit der Anwendung vom verwendeten Hypervisor. So ist es ab den Versionen *libvirt 0.2.0* und *virt-manager 0.3.1* auch möglich, die Instanzen von QEMU und KVM zu verwalten. Weitere Virtualisierungslösungen sollen folgen.
- ▶ Der VMM basiert auf einem kleinen Pool an Werkzeugen, die optimal zusammenarbeiten und die Grundlage für dieses Programm bilden. Alle diese Werkzeuge sind kommandozeilenbasiert und damit unabhängig von der Funktion einer grafischen Oberfläche verwendbar.
 - ▶ **virt-install**
dient zur Installation und Einrichtung eines virtuellen Gastes
 - ▶ **virt-clone**
dient zum Klonen von inaktiven Gästen
 - ▶ **virt-image**
dient zum Installieren von Gastsystemen aus einem Master-Image
 - ▶ **virt-viewer**
dient zur grafischen Verbindung mit den virtuellen Gästen

[+] In Abschnitt 11.1, »Virtual Machine Manager«, ab Seite 387 gehe ich detailliert auf den *Virtual Machine Manager* ein.

1.9 Images

Wenn Sie sich die (zugegebenermaßen geringe) Mühe einer Gastinstallation sparen möchten oder Sie bestimmte Linux-Distributionen zum Testen brauchen, können Sie sich auch fertig installierte und vorkonfigurierte Xen-Images herunterladen. Im Internet gibt es zahlreiche Quellen für Images von Ubuntu, SUSE, Debian usw.

[+] In Abschnitt 10.2, »Verwendung von Images«, ab Seite 358 gehe ich näher auf diese Xen-Images ein und verweise auf einige Download-Möglichkeiten.

»Unser Leben ist das Produkt unserer Gedanken.«

*Marcus Aurelius (121–180),
römischer Kaiser*

14 FAQ

Was Sie in diesem Kapitel erwartet

Wenn man sich mit Xen beschäftigen möchte, hat man selbstverständlich eine Menge Fragen. Da diese sich bei vielen Anwendern immer wiederholen und die Antworten auf diese Fragen über das gesamte Buch verstreut sind, möchte ich an dieser Stelle eine kurze Übersicht über die häufigsten Fragen und ihre Antworten geben.

Benötigtes Vorwissen

Allgemeine Kenntnisse der Administration von Linux-Systemen

14.1 Allgemein

14.1.1 Was ist (Server-)Virtualisierung?

Virtualisierung ist die Technik, Betriebsmittel eines Computers so zu repräsentieren, dass sie von Benutzern und Programmen einfach verwendet werden können, ohne dass die genaue Implementation oder physikalische Eigenschaften des Betriebsmittels bekannt sein müssen.

Man unterscheidet grundlegend zwischen Software- und Hardwarevirtualisierung. Die Softwarevirtualisierung kann man grob in drei Kategorien teilen: Betriebssystemvirtualisierung mittels OS-Container, Systemvirtualisierung mittels Virtual Machine Monitor (servervirtualisierung) sowie Anwendungsvirtualisierung.

Speziell Servervirtualisierung ermöglicht die parallele Ausführung mehrerer Betriebssysteme wie Linux, (Open-)Solaris und Windows auf einem Rechner. Dabei können (abhängig von der verwendeten Technik) diese Betriebssysteme gleichartig oder von verschiedener Natur sein.

14.1.2 Wofür steht der Begriff »Xen«?

Der Begriff *Xen* ist mit großer Sicherheit eine Zusammensetzung aus den Begriffen **Linux** und **Zen**. Die englische Aussprache dieses Kunstwortes ist *Zen* mit einem weichen *S* (siehe Abschnitt 4.1.1 auf Seite 157).

Das Xen-Projekt wurde an der University of Cambridge gegründet und erschien 2003. Die später gegründete Firma XenSource Inc. wurde 2007 von Citrix übernommen und in ihre Produkte integriert. Der Hypervisor an sich bleibt allerdings Open-Source.

Xen ist eine freie Software für die Server-Virtualisierung. Es dient der Server-Konsolidierung sowie der Flexibilisierung von IT-Umgebungen. Es unterstützt neben dem Paravirtualisierungs-Modus auch die vollständige, hardwarebasierte Virtualisierung auf Basis der Prozessoren von Intel und AMD. Bei ersterem müssen die Gastsysteme angepasst werden, bei der zweiten Variante nicht.

Xen ist durch seine Multiplattformfähigkeit sehr integrationsfreudig. Insbesondere unterstützt es eine Fülle von Speichertechnologien von NFS über SAN bis hin zu Infiniband, um Gastsysteme zentralisiert verwalten zu können. Auch können vorhandene Clustering- und Failover-Funktionen auf Xen-Umgebungen angewendet werden, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.

14.1.3 Welche Betriebssysteme werden unterstützt?

Der Xen-Hypervisor läuft neben Linux auch auf BSD-Systemen und OpenSolaris. Diese Betriebssysteme werden auch als Gäste unterstützt, da entsprechend modifizierte Kernels existieren. Der hardwareunterstützte Virtualisierungsmodus erweitert die Unterstützung um geschlossene Gast-Betriebssysteme, die nicht angepasst sind, beispielsweise Microsoft Windows.

Xen unterstützt Prozessoren mit x86-Architektur (32 und 64 Bit, PAE). Es ist unmöglich, eine komplette Liste mit allen zu Xen kompatiblen Servern, bzw. deren Hardware zu erstellen. In Kapitel 5 ab Seite 181 habe ich allerdings einige Hinweise gegeben, wie Sie sich von der Kompatibilität der zu verwendenden Hardware überzeugen können. In Kapitel 13 ab Seite 457 gebe ich Ihnen einige Tipps zur Fehlersuche und nenne Ihnen zahlreiche Adressen, unter der Sie an weitere Informationen gelangen.

Ein zentraler Aspekt für den Produktivbetrieb ist die Performance. Die paravirtualisierten Gäste sind hier über alle Zweifel erhaben, spannend ist es aber beim Virtualisieren von Windows. Die Open-Source Variante lässt hier bei Platten- und Netz-IO sehr zu wünschen übrig. Abhilfe schaffen hier zum einen spezielle Windows-Treiber, welche XenSource in seinen kommerziellen Xen-Produkten

(XenExpress, XenServer, XenEnterprise) mitliefert. Zum anderen bringen Novell und Intel in Kürze kooperativ frei verfügbare paravirtualisierte Windows-Treiber mit. Windows steht darüber beispielsweise eine virtuelle SCSI-Festplatte zur Verfügung. Die IO-Performance läßt sich damit nachweislich auf sehr hohe Werte bringen.

14.1.4 Ist Xen besser als VMware?

Zuerst einmal muss man betonen, dass sich beide Produkte im Enterprise-Einsatz bewährt haben. Direkter Konkurrent von Xen ist hier der ESX-Server von VMware, der ebenfalls auf einem Hypervisor basiert. Xen kann hierbei eine ähnliche Geschwindigkeit bieten, ist im Gegensatz zu VMware aber sehr günstig. Wenn Sie keinen professionellen Support wünschen, ist Xen sogar kostenlos.

Im Desktop-Bereich sieht die Sache entschieden anders aus: Auch wenn man Xen hier problemlos einsetzen kann, ist der Funktionsumfang und die Ergonomie der VMware-Produkte unerreicht. Mit Xen muss der User deutlich mehr Bastelarbeit in Kauf nehmen. Der grafische Zugriff auf die virtuellen Maschinen ist sogar erst seit kurzem in Xen integriert – der Schwerpunkt liegt also eindeutig in der Servervirtualisierung.

14.1.5 Gibt es Alternativen?

Der Xen-Hypervisor ist sehr stabil. Novell und Red Hat bieten Support für Xen-Installationen. Damit ist der Boden für den Rechenzentrumseinsatz vorbereitet. IBM hat jüngst mit sHYPE eine Hochsicherheitsvariante von Xen auf den Markt gebracht, welches die Security-Themen im Enterprise-Segment sehr gezielt auf Basis einer virtuellen TPM (Trusted Platform Module) Architektur angeht. Als erstzunehmende Konkurrenten zu Xen gelten:

- ▶ VMware
- ▶ Virtuozzo von SWSOft (sehr performant, gute Management-Umgebung, jedoch wenige unterstützte Betriebssysteme)

sowie die integrierten Produkte der etablierten, großen Hardwarehersteller

- ▶ IBM (Power Hypervisor, z/VM),
- ▶ Sun (Zones) und
- ▶ HP (Integrity Virtual Machine).

Des Weiteren hat Microsoft einen Hypervisor in Windows Server 2008 integriert. XenSource und Microsoft haben 2007 ein weitreichendes Kooperations-

abkommen abgeschlossen mit dem Ziel, Xen mit dem künftigen Windows-Server-Produkten interoperabel zu machen. Xen-Gastsysteme könnten zukünftig ohne Weiteres auch auf einem Windows-Server ablaufen.

14.1.6 Was geht, was geht nicht?

Xen bietet inzwischen viele Highend-Funktionen, von der Live-Migration bis zu einem exklusiven Zugriff auf Hardwarekomponenten durch einzelne Gäste. Auch Scheduling-Mechanismen für Load Balancing von Gästen ist möglich, dieses auch über mehrere Prozessoren hinweg.

Alle großen Linux-Distributionen integrieren Xen über ihre Installations- und Konfigurations-Tools, sodass die Integration von Xen in der Regel kein großes Problem darstellt. Selbst kommerziellen Support können Sie von den großen Distributoren erwerben.

Die Xen-Entwickler-Community hat in nächster Zeit vor allem noch einige Detailarbeit zu bewältigen. Die Liste der Aufgaben erstreckt sich von der Fertigstellung der Management-API (CIM) über die native Integration von Infiniband bis hin zur Optimierung der virtuellen I/O- und Netzwerk-Schnittstellen bei vollständig virtualisierten Gästen wie Windows. Das Wiki des Projekts gibt ausführlich Auskunft über die weiteren Pläne für Xen.

Die Hersteller von Enterprise-Betriebssystemen, allen voran Red Hat, Novell und Sun, sind dabei, Xen nach und nach nahtlos in die vorhandenen System-Management-Tools zu integrieren. Damit wird sich aus Sicht des Administrators eine virtuelle Xen-Maschine wie ein normaler Server verhalten – jedoch erweitert um alle Vorteile der Virtualisierung (dynamische Provisionierung, Klonen und Roll-back).

Es mangelt an komfortablen und umfassenden Werkzeugen für Installation, Konfiguration und rechnerübergreifendes Management virtueller Systemumgebungen. Hier springen jedoch zunehmend Drittanbieter in die Bresche. Das Xen-Entwicklerteam arbeitet an einer Schnittstelle (CIM, *Common Information Model*) nach DMTF-Standard, welche die Integration in Management-Tools deutlich erleichtern und beschleunigen wird.

Daneben bieten inzwischen eine Reihe von Drittanbietern umfassende Xen-Management-Suiten in unterschiedlichen Ausprägungen an. Virtual Iron und Citrix liefern Software, welche den Administrator vom Setup bis hin zum Verwalten kompletter Umgebungen unterstützt.

14.2 Probleme beim Booten

14.2.1 Es sind keine Konsolen verfügbar

Während des Bootens erscheinen Meldungen wie beispielsweise folgende

```
netbsd getty[374]: /dev/ttyE1: Device not configured
```

Listing 14.1 Fehlermeldungen beim Start

Der Grund für diese Fehlermeldung liegt darin, dass die Konsolen unter Xen nicht verfügbar sind. Um diese zu deaktivieren, editieren Sie die Datei `/etc/ttys` und verändern Sie die Zeilen `ttYE1-3` wie in dieser Beispielzeile:

```
ttYE1 "/usr/libexec/getty Pc" vt220 off secure
```

Listing 14.2 Deaktivieren der zusätzlichen Konsolen

14.2.2 Falscher Kernel

Es kann passieren, dass eine Meldung ähnlich zu der folgenden erscheint:

```
ERROR: Could not obtain handle on privileged command interface
(2 = No such file or directory)
```

```
Traceback (most recent call last):
```

```
File "/usr/sbin/xend", line 33, in ?
```

```
from xen.xend.server import SrvDaemon
```

```
File "/usr/lib/python2.4/site-packages/xen/xend/server/
SrvDaemon.py", line 21, in ?
```

```
import relocate
```

```
File "/usr/lib/python2.4/site-packages/xen/xend/server/
relocate.py", line 26, in ?
```

```
from xen.xend import XendDomain
```

```
File "/usr/lib/python2.4/site-packages/xen/xend/
XendDomain.py", line 33, in ?
```

```
import XendDomainInfo
```

```
File "/usr/lib/python2.4/site-packages/xen/xend/
XendDomainInfo.py", line 37, in ?
```

```
import image
```

```
File "/usr/lib/python2.4/site-packages/xen/xend/
image.py", line 30, in ?
```

```
xc = xen.lowlevel.xc.xc()
RuntimeError: (2, 'No such file or directory')
```

Listing 14.3 Falscher Kernel

Diese Meldung erscheint, wenn Sie einen falschen, respektive einen Kernel ohne Xen-Support, gestartet haben. Achten Sie dementsprechend beim nächsten Boot-Vorgang darauf, dass Sie den Xen-Kernel starten. Wenn Sie konstant mit Xen arbeiten, sollten Sie die Einstellungen in der GRUB-Konfigurationsdatei überprüfen.

14.3 Probleme mit der grafischen Konsole

Für die grafische Verbindung zu Xen-Gästen ist das Programm VNC (Virtual Network Computing) zuständig.

Wenn Sie die Gäste mit dem Parameter `-c` starten

```
root$ xm create -c <NAME>
```

Listing 14.4 Start einer virtuellen Maschine

wird nach dem Booten dieses virtuellen Systems automatisch eine VNC-Sitzung gestartet. Dies erlaubt Ihnen die Kommunikation zwischen einem entfernten Computer (dem Server) und einem lokal installierten Programm (dem Viewer). Sie brauchen eine Verbindung von Ihrem Rechner zu einem anderen auf, wobei VNC quasi das Fenster zum entfernten System darstellt.

Es klingt bereits heraus, dass Server und Viewer nicht zwingend auf derselben Maschine installiert sein müssen. So können Sie selbstverständlich problemlos von Ihrem Notebook zuhause die virtuellen Gäste auf dem Server in der Firma verwalten. Sie sollten bei einer solchen Remote-Verwaltung allerdings großen Wert auf eine sichere Verbindung haben. Auf diese Problematik gehe ich in Abschnitt 11.5, »Sicherheit«, auf Seite 408 näher ein.

Plattformunabhängig

Einer der größten Vorteile von VNC ist dessen Plattformunabhängigkeit. Server und Viewer können auf komplett verschiedenen Architekturen laufen, sodass sich dieses Programm als erstklassiges grafisches Kommunikationsmittel mit virtuellen Maschinen anbietet. Dabei ist VNC frei verfügbar und für die meisten Plattformen erhältlich.

Schließen und Öffnen der Verbindung

Sie können die VNC-Sitzung zwischen Server und Viewer jederzeit beenden, indem Sie lokal den Viewer schließen – der Server verbleibt dabei in einer wartenden Position. Wenn Sie eine erneute Verbindung herstellen möchten, reicht ein Aufruf von VNC mit der jeweiligen IP-Adresse des Gastes:

```
root$ vnc <IP>
```

Listing 14.5 (Wieder-)Herstellen einer VNC-Sitzung

14.3.1 Der Mauszeiger ist nicht synchronisiert

Bei der Verwendung von älteren Xen-Versionen war dieses Problem alltäglich, aber auch heute noch tritt dieses Problem manchmal auf: Der Mauszeiger in der virtuellen Maschine ist nicht synchronisiert mit der realen Bewegung der Maus, es ist ein konstanter Versatz vorhanden.

Überprüfen Sie, ob in der Konfigurationsdatei der virtuellen Maschine folgende Einträge existieren, beziehungsweise ergänzen sie:

```
vnc=1
sdl=0
vnclisten="0.0.0.0"
usb=1
usbdevice='tablet'
```

Listing 14.6 VNC-Abschnitt in der Konfigurationsdatei

14.3.2 Die Auflösung des Wirts ändert sich

Bei einigen Konfigurationen kann es vorkommen, dass sich die Auflösung des Wirts dauerhaft verstellt, wenn man den oder die Gäste im Vollbildmodus betreibt. Abhilfe schafft die manuelle Änderung der Auflösung durch die Tastenkombinationen $(\text{Strg}) + (\text{Alt}) + (+)$, beziehungsweise $(\text{Strg}) + (\text{Alt}) + (-)$. Die Ursache des Problems war bis zur Drucklegung dieses Buchs unbekannt.

14.4 Netzwerk

14.4.1 Probleme mit der Namensauflösung

Ein Problem, das auftreten kann, ist die gestörte Namensauflösung von Internetseiten. Der sogenannte DNS (*Domain Name Server*) wird dem Anwender in der Regel dynamisch zugewiesen. Oft kommt es jedoch vor, dass solche Name-

Server überlastet sind. Dann tut man gut daran, einen weniger frequentierten Server zu definieren. Das kann entweder mit dem Netzwerkkonfigurationswerkzeug oder durch direkte Bearbeitung der Datei `/etc/dhcp3/dhclient.conf` erfolgen. Der notwendige Eintrag hat folgende Gestalt:

```
prepend domain-name-servers 62.72.64.237
```

Listing 14.7 Eintrag für DNS-Server

In der Datei ist bereits ein entsprechender Eintrag vorhanden, dort muss das Kommentarzeichen `#` entfernt und die IP-Adresse geändert werden. Um die Änderungen ohne Neustart des Systems zu übernehmen, ist noch folgender Befehl erforderlich:

```
root$ /etc/init.d/networking restart
```

Listing 14.8 Netzwerk neu starten

Welcher DNS-Server gerade genutzt wird, erfährt man durch folgenden Befehl:

```
root$ grep nameserver /etc/resolv.conf
```

Listing 14.9 Abfrage des aktiven DNS-Servers

Der Befehl `dig` schließlich testet, ob ein gegebener Name-Server (im folgenden Beispiel 194.25.2.129) eine Anfrage umsetzt:

```
user$ dig @194.25.2.129 www.ubuntulinux.org a
; (1 server found)
;; Query time: 51 msec
;; SERVER: 194.25.2.129#53(194.25.2.129)
```

Listing 14.10 DNS abfragen

Wie man sieht, kann man auf diese Weise auch die Reaktionszeit des Name-Servers abschätzen.

14.5 Probleme mit `xend`

Viele konstant wiederkehrende Fragen beziehen sich auf `xend`, den Xen-Daemon. Wenn Sie beim Aufruf von

```
root$ virsh list
```

oder

```
root$ xm list
```

die Meldung

Fehler: Fehler bei der Verbindung mit xend: Verbindung wurde zurückgewiesen. Läuft der xend?

erhalten, läuft Ihr Xen-Daemon nicht. Sie starten ihn durch den Aufruf des spezifischen Skriptes:

```
root$ /etc/init.d/xend start
```

Listing 14.11 Starten von xend

Ein anderer »beliebter« Fehler ist die Meldung

```
Invalid argument
```

Listing 14.12 Nicht-kompatibler Kernel

beim Starten eines Gasts. Diese erscheint, wenn der Gastkernel und der Xen-Hypervisor inkompatibel sind. Leider gibt es es keinen einfachen und reproduzierbaren weg, um den Gast trotzdem zum Laufen zu bekommen. Es bleibt Ihnen meistens nichts anderes übrig, als den Gast oder die Xen-Version zu ändern.

Nicht jedes Ärgernis ist mit einem Fehler verbunden. So kann es beispielsweise passieren, dass nach jedem Update Ihres Host-Kernels die GRUB-Konfigurationsdatei als Standard den »Nicht-Xen-Kernel« einbindet. Diese Vorgehensweise können Sie selbstverständlich ändern. Bei einem Red-Hat-basierten System können Sie beispielsweise in der Datei `/etc/sysconfig/kernel` den Standard-Kernel wählen. Tragen Sie hier »kernel-xen« ein, ist Ihr System »Update-sicher«.

14.6 Probleme mit xm

Das Utility `xm` ist Teil des Paketes `xen-utils`. Falls Sie grundsätzliche Probleme mit den `xm`-Kommandos haben, sollten Sie den Status dieses Pakets überprüfen. Es kann allerdings auch zu anderen Problemen kommen: Ein Fehlen des Pakets `python-xml` führt unweigerlich dazu, dass alle `xm`-Befehle, die von `libvirt` abhängig sind, ihren Dienst quittieren.

Sie erhalten folgende Meldung:

```
ImportError: No module named xmlproc
```

Listing 14.13 Meldung bei Fehlen des Pakets python-xml

Index

Überwachung 409, 491

A

Access Control Policy 496
Account 527
ACER 198
ACM 220
Address Resolution Protocol 366
Aktualität 32
Aliasing 280
AMD
 SVM 244
AMD-V 243
AMI 198
ASPLinux 334
AST 198
Atlas 55
ATT 198
Aufbau des Buches 24
Auflösung 477
Aurox 333
Award 198

B

Bücher 523
Balloon Treiber 284
Berry Linux 333
Betriebssystem
 Aufbau 87
 Entstehung 85
Binary translation 228
BIOS 198
 Bootreihenfolge ändern 198
 Tastenkombinationen 198
BIOS-Calls 287
Bitmaps 307
Bladeserver 94
Blockorientierte Geräte 354
Bochs 142
Boot
 Meldungen 461
Booten

Probleme 475
Bootreihenfolge ändern 198
Bridge 367
Bridged Network 366
 Mehrere Bridges 369
 Zweite IP-Adresse 368
brtctl 457
BSD 469

C

Callback 264
ccNUMA 177
CentOS
 NVIDIA-Treiber 348
Chronik
 1951 – 2001 96
 2003 – heute 152
Clock Interrupt 256
cobbler 341
Communications of the ACM 220
Compaq 198
Compatible Time Sharing System 63
Compiler-Compiler 60
Container 141
Control Data Corporation 69
 Auseinandersetzung mit IBM 69
ConVirt 328, 407
Coprozessor 217
CPU
 Erweiterung 39
 Virtualisierung 211
 virtuell 212

D

Datentransfer 273
Debugging 302
Debugging-Werkzeuge 457
deprivilegieren 231
Deskriptor-Tabelle
 Global 276
 Lokal 276
Deskriptoren 57
Device Exclusion Vector 249
Diagnose 491

Dienste 411
dig 372, 478
Distributionen 32
DMA 271
 Begriffsklärung 216
DNS 372, 477
 abfragen 372, 478
Dokumentation 523
Dom0
 Glossar 529
Domain
 Anhalten 488
 Auflisten 491
 Erstellung 485
 Kurzeinstieg 43
 Unterbrechen 488
Domain 0 43
Domain Name Server 372, 477
Domain U 44
 Fortsetzen 488
 Herunterfahren 489
 Migrieren 488
 Neustart 488
 Speichern 489
 Umbenennen 489
 Wiederherstellen 489
DomU
 Glossar 529
Dynamischer Datenträger 374

E

Einsatzbereiche 40
Einsatzszenarios 114
Enhanced Mode 216
Enomalism 407
EtherApe 370
ethereal 371
Exception 228

F

FAQ 471
Fast System Calls 265
Fedora
 Problem 33
 SELinux 346
Fileserver 377
Flag 272
Foren 467

Fortran
 Entwurf 64
 Monitor System 64
Fox Linux 333
FreeBSD 469

G

Ganeti 407
Geräte
 Blockorientiert 354
Geräteklassen 88
Gerätespeicher
 Begriffsklärung 216
Gliederung 24
Glossar 527
Goldberg 220
Grafische Konsole 392
Grant Table-Referenz 297
Green IT 111
Großrechner 50
GRUB
 Installation 315
 Konfiguration 315

H

Hardware-Virtualisierung 53
Hardwarebasierte Virtualisierung
 Definition 148
 Kurzeinstieg 38
 KVM 150
 Prozessoreignung 314
 Vor- und Nachteile 149
Hardwareinterrupt 57
Hilfe
 Internet 465
 System 457
Historie 49
Hochverfügbarkeit 407
Hypercalls 256
Hyperthreading 219
 Begriffsklärung 219
Hypervisor
 Aufbau 225
 Geburtsstunde 58

I

I/O-Ringe 274
 I/O-Virtualisierung 235
 IBM 61, 198
 CP-40 63
 M44 62
 OS360 66
 S360 64
 VM370 68
 Iced Tea 77
 Icons 31
 ID 490
 ifconfig 457
 Images 358
 Jailtime 358
 Jumpbox 359
 Rpath 359
 Xen-get 359
 Indirektion 280
 Indirektionen 280
 Informationen 517
 Informationsseiten 301
 Initial RAM-Disk 320
 Installation 311
 Binärpakete 319
 cobbler 341
 Images 358
 koan 341
 NVIDIA-Treiber 348
 PAE 316
 Ubuntu
 Probleme 326
 virsh 344
 virt-install 338
 virt-manager 339
 Voraussetzungen 312
 Wirt
 CentOS 346
 Debian 321
 Fedora 332
 OpenSUSE 350
 Red Hat 331
 SLES 350
 Ubuntu 325
 Instruktionen 223
 Integrierte Schaltung 54
 Intel
 VMX-Abfrage 314
 Intel VT 237

Interrupt

 Begriffsklärung 57
 Hardware 57
 Virtuell 307

IOMMU 271

IP-Forwarding 367

IPv4 360

IPv6 360

IRC 467

J

Jailtime 358

Java

 Aufbau 76

 Runtime Environment 75

 Virtual Machine 75

Jumpbox 359

K

Kernel 258

 Auswahl 475

Klassenbildung 84

koan 341

Kommandozeilenbefehle 29

Kommunikation 266

Konfigurationsdateien

 Anlegen 353

 Initrd 356

 Kernel 356

 Netzwerk 359

 Variablen 357

 Verzeichnisse 354

Konsole 461

 Grafisch 476

 Probleme 475

Konsolidierung 72

Konventionen 28

Kopieren 274

Kurzeinstieg 37

KVM 417

 Bridging 430, 434

 Definition 150

 Distributionspakete 423

 Gastinstallation 426

 Hilfe 467

 Installation 422

 Mailingliste 468

 Module 426

- NAT 434
- Netzwerk 429
- Quellen 425
- Ubuntu 439
- Ubuntu 8.04 429, 441
- Ursprung 417
- Virtuelle Netzwerke 432
- VMware-Maschinen nutzen 455
- Voraussetzungen 421
- Wiki 467
- Windows Vista 428
- Windows XP 427

L

- Leitfaden 23
- Linux 80
- Listings 30
- Literatur 523
- Live-CD 197
- Livermore Time-Sharing System 70
- Logical Volume 374
 - Eigenschaften* 377
 - löschen* 377
- Logical Volume Manager 374
- Long Term Support 440
- LVM
 - Befehle* 376
 - Installation* 374
 - Logical Volume* 374
 - Physical Volume* 374
 - Volume Group* 374

M

- Mach-Ports 264
- Machine Frame Number 281
- Mailingliste 466
- Management-Produkte 406
- Mapping 270
- Mauszeiger
 - Probleme* 477
- Memory Management Unit 89
- Memory Split 281
- Middleware 79
- Migration
 - Befehle* 488
 - Live* 414
 - Offline* 414
- Mikroprozessoren 71

- Multics 86
- Multiplexe Services 298
- Multiplexverfahren 295
- Multiprogrammierung 54
- Multitasking 93

N

- Nagios 412
- Namensauflösung 477
- Nested Page Tables 235
- Nested Paging 248
- NetBSD 469
 - Tipps* 382
- Network File Systems 377
- network-bridge 361
- Netzwerk
 - Bridged Network* 366
 - DNS* 372
 - Paketsniffer* 370
 - Probleme* 477
 - Routed Network* 365
- Netzwerküberwachung 370
- Netzwerkkommunikation 269
- Netzwerktechnik 359
 - TCP/IP* 360
- Netzwerktest 364
- NFS 377
- Notation 200
- NUMA 176
 - Begriffsklärung* 176

O

- Offset 279
- OLPC 333
- One-Level Store 59
- OpenBSD 469
- OpenQRM 407
- OpenSolaris 469
- OpenVZ 122
- OS360 66
- OSI-Modell 363

P

- P-Code 74
- Pacifica 244
- PAE 316

Page Faults 308
 Page Frame 270
 Page Tables 288
 Paged Real Mode 249
 Paging 58, 217
 Begriffsklärung 59
 Paging System 279
 Paketsniffer 370
 Parallels 123
 Paravirtualisierung
 Beispiel 145
 Definition 144
 Kurzeinstieg 38
 Microsoft
 Hyper-V 145
 Kooperation 146
 Server 2008 145
 Vor- und Nachteile 145
 Pascal 73
 Phoenix 198
 Physical Volume 374
 Pipelining 70
 Begriffsklärung 70
 Planungshilfen 113
 Playstation 67
 Policies 496
 Popek 220
 Popek-Goldberg-Theorem 220
 Portmapper 378
 Ports
 Begriffsklärung 233
 POSIX 267
 Privilegierte Befehle 262
 Problembehandlung 457
 Programmpfade 29
 Protected Mode 216
 Protokolldateien 457
 Protokollverzeichnisse 458
 Prozessor
 Anzahl ändern 490
 physikalisch 211
 Zuweisen 490
 Prozessoren
 Erweiterung 39
 Pseudo-Maschine 73

Q

QEMU 143
 qemu-dm.log 460

Qumranet 418

R

Real Mode 214
 Real Time Package 63
 Realer Rechner 222
 Rechnerzustand 221
 Red Flag Linux 333
 Referenz 481
 Ring
 Komponenten 275
 Mechanismus 275
 Ringe
 Aufbau 225
 Ungenutzt 229
 Root-Shell 30
 Routed Network 365
 Routing
 Tabelle 360
 Technik 365
 Rpath 359

S

SAGE 56
 Schaltung
 Integriert 54
 Screenshots 31
 Secure Loader 251
 Segment-Sicherungen 279
 Segmente 276
 Segmentierter Speicherzugriff 215
 Segmentregister 277
 Seitendatenverzeichnis 279
 Seitenfehler 291
 Seitenverzeichnis 279
 SELinux 346, 464
 Serielle Konsole 461
 Server
 Gedoppelt 110
 Konsolidierung 114
 Server-Virtualisierung
 Definition 471
 Shared Info Page 301, 306
 Shared Memory 268
 Sicherheit 408
 Sicherheitslabel 496
 Sitzung starten 393
 Software-Virtualisierung 78

Solaris 79
 Speicher
 Begrenzen 487
 virtuell 89
 Zuweisen 487
 Speicher-Ringbuffer 300
 Speicheraanbindung 287
 Speicherauszug 491
 Speicherplatz
 Dateien 373
 LVM 374
 NFS 377
 Speicherseiten 267
 Speicherverwaltung 276
 Split-Treibermodell 297
 SPREAD 65
 Stackpointer 278
 Start Info Page 301, 303
 Sticky Key 393
 Subnetzmaske 360
 Substitution 84
 Sudo statt Root 29
 Supercomputer 71
 Supervisor 58
 SVM-Operationen 244
 Swapping 90

T

Tastaturlayout
 Übersetzungstabelle 200
 TCP/IP 360
 tcpdump 370, 457
 Terminal
 Emulation 72
 Howto 28
 Testplattform 119
 Theorem
 Popek und Goldberg 220
 Time Sharing 53
 Titan 55
 Trusted Computing 250

U

Ubuntu
 KVM 439
 LTS 440
 UNIX 86
 User Mode Linux 124

V

Vanderpool 237
 vif-bridge 361
 virsh 344
 Referenz 514
 virt-install 338, 404
 virt-manager 339
 Referenz 512
 Virtual Iron 407
 Virtual Machine Control Block 246
 Virtual Machine Control Structure 240
 Virtual Machine Manager 387
 Ubuntu 330
 Virtual PC 140
 Virtual Server 140
 VirtualBox 141
 VirtualIQ 407
 Virtualisierung
 Betriebssystemebene 120
 der CPU 211
 Generelles Problem 226
 Gründe 108
 Klassisch 105
 Vollständig 128
 Virtualisierung einer CPU 54
 Virtualisierungstechniken
 Vergleich 150
 Virtuell
 Speicher 89
 Virtuelle Interrupts 307
 Virtuelle Maschine
 Anforderungen 225
 CPUs 403
 Domain-ID 403
 Erstellen 394
 Lebenszyklus 177
 Neue Instanz 291
 Rekursiv 68
 Speicherverbrauch 403
 Statusüberwachung 402
 Wiederherstellen 398
 Virtuelle Prozessoren 88
 Virtuelle Speicherverwaltung 89
 Virtueller Speicher 58, 280
 Virtuozzo 122
 Vixta Linux 333
 VM Entries 238
 VM Exits 238
 VMware 130

Hilfe 468
KVM 455
 VMX 238
 VMX-Operationen 238
 Volume Group 374
 Eigenschaften 376
 Erweiterung 376
 Vorträge 524
 VT-i 242

W

Wabi 79
 Werkzeuge 457
 Wiki 525
 Windows
 Tipps 379
 Wine 80
 Wirt
 Kurzeinstieg 43

X

x86
 Architektur 212
 Entwicklung 213
 Xen
 Alternativen 473
 Anforderungen 181
 Dienste 411
 Hardwareunterstützung 182
 Installationsmöglichkeiten 190
 Integration 174
 Kommerzielle Xen-Produkte 169
 Kooperation mit Microsoft 175
 Live-CDs 193
 Neuerungen 173
 Philosophie 162
 Probleme 188

Roadmap 172
Speicher-Assistent 282
Umfang 166
Unterstützte Prozessoren 185
Ursprung 157
 Xen-get 359
 xen-hotplug.log 460
 Xen-Tools 513
 xend
 .log 459
 Daemon 459
 debug.log 460
 Konfiguration 510
 Probleme 478
 XenMan 407
 Xenoppix 194
 XenServer 170, 407
 XenSource 193
 XenStore 293
 XFS 375
 xm
 Aufbau 482
 Befehle 482
 Optionen 482
 Probleme 479
 Referenz 481
 Voraussetzungen 482
 xmdomain.cfg 482, 500

Y

Yellow Dog Linux 333

Z

Zielgruppe 27
 Zugriffskontrolle 496
 Zustand
 innerer 221