



**it**  
informatik

Andrew S. Tanenbaum

# Moderne Betriebssysteme

3., aktualisierte Auflage

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	23
<b>Kapitel 1 Einführung</b>	29
1.1 Was ist ein Betriebssystem? . . . . .	33
1.1.1 Das Betriebssystem als eine erweiterte Maschine . . . . .	33
1.1.2 Das Betriebssystem als Ressourcenverwalter . . . . .	35
1.2 Geschichte der Betriebssysteme . . . . .	37
1.2.1 Die erste Generation (1945–1955) – auf Basis von Elektronenröhren . . . . .	38
1.2.2 Die zweite Generation (1955–1965) – Transistoren und Stapelverarbeitungssysteme . . . . .	38
1.2.3 Die dritte Generation (1965–1980) – integrierte Schaltkreise und Multiprogrammierung . . . . .	41
1.2.4 Die vierte Generation (1980 bis heute) – der Personalcomputer (PC) . . . . .	46
1.3 Überblick über die Computer-Hardware . . . . .	50
1.3.1 Prozessoren . . . . .	51
1.3.2 Arbeitsspeicher . . . . .	55
1.3.3 Festplatten . . . . .	58
1.3.4 Magnetbänder . . . . .	59
1.3.5 Ein-/Ausgabegeräte . . . . .	60
1.3.6 Bussysteme . . . . .	63
1.3.7 Hochfahren des Computers. . . . .	66
1.4 Die Betriebssystemfamilie . . . . .	67
1.4.1 Betriebssysteme für Großrechner . . . . .	67
1.4.2 Betriebssysteme für Server . . . . .	68
1.4.3 Betriebssysteme für Multiprozessorsysteme . . . . .	68
1.4.4 Betriebssysteme für Personalcomputer . . . . .	68
1.4.5 Betriebssysteme für Handheld-Computer . . . . .	69
1.4.6 Betriebssysteme für eingebettete Systeme . . . . .	69
1.4.7 Betriebssysteme für Sensorknoten . . . . .	69
1.4.8 Echtzeitbetriebssysteme . . . . .	70
1.4.9 Betriebssysteme für Smart Cards . . . . .	71
1.5 Betriebssystemkonzepte . . . . .	71
1.5.1 Prozesse . . . . .	71
1.5.2 Adressräume . . . . .	74
1.5.3 Dateien . . . . .	75
1.5.4 Ein- und Ausgabe . . . . .	78
1.5.5 Datenschutz und Datensicherheit. . . . .	78
1.5.6 Die Shell. . . . .	79
1.5.7 Die Ontogenese rekapituliert die Phylogenese. . . . .	80

1.6	Systemaufrufe .....	84
1.6.1	Systemaufrufe zur Prozessverwaltung .....	89
1.6.2	Systemaufrufe zur Dateiverwaltung .....	91
1.6.3	Systemaufrufe zur Verzeichnisverwaltung .....	92
1.6.4	Sonstige Systemaufrufe .....	94
1.6.5	Die Win32-Programmierschnittstelle (API) unter Windows ...	95
1.7	Betriebssystemstrukturen .....	98
1.7.1	Monolithische Systeme .....	98
1.7.2	Geschichtete Systeme .....	100
1.7.3	Mikrokerne .....	101
1.7.4	Das Client-Server-Modell. ....	104
1.7.5	Virtuelle Maschinen. ....	105
1.7.6	Exokerne. ....	109
1.8	Die Welt aus der Sicht von C .....	109
1.8.1	Die Programmiersprache C .....	109
1.8.2	Header-Dateien. ....	110
1.8.3	Große Programmierprojekte. ....	111
1.8.4	Das Laufzeitmodell .....	113
1.9	Forschung im Bereich der Betriebssysteme .....	113
1.10	Überblick über das Buch. ....	115
1.11	Metrische Einheiten. ....	116
	Zusammenfassung. ....	117
	Übungen. ....	118

**Kapitel 2 Prozesse und Threads** 123

2.1	Prozesse .....	124
2.1.1	Das Prozessmodell .....	125
2.1.2	Prozesserzeugung. ....	127
2.1.3	Prozessbeendigung .....	129
2.1.4	Prozeshierarchien .....	130
2.1.5	Prozesszustände .....	131
2.1.6	Implementierung von Prozessen. ....	133
2.1.7	Modellierung der Multiprogrammierung .....	135
2.2	Threads. ....	137
2.2.1	Der Gebrauch von Threads .....	137
2.2.2	Das klassische Thread-Modell. ....	143
2.2.3	POSIX-Threads. ....	147
2.2.4	Implementierung von Threads im Benutzeradressraum .....	149
2.2.5	Implementierung von Threads im Kern .....	153
2.2.6	Hybride Implementierungen .....	154
2.2.7	Scheduler-Aktivierungen. ....	155
2.2.8	Pop-up-Threads .....	156
2.2.9	Einfach-Thread-Code in Mehrfach-Thread-Code umwandeln. ...	157
2.3	Interprozesskommunikation .....	161
2.3.1	Race Conditions .....	161
2.3.2	Kritische Regionen .....	163
2.3.3	Wechselseitiger Ausschluss mit aktivem Warten. ....	164

2.3.4	Sleep und Wakeup . . . . .	170
2.3.5	Semaphor. . . . .	173
2.3.6	Mutex . . . . .	176
2.3.7	Monitor . . . . .	181
2.3.8	Nachrichtenaustausch. . . . .	187
2.3.9	Barrieren . . . . .	190
2.4	Scheduling. . . . .	192
2.4.1	Einführung in das Scheduling . . . . .	192
2.4.2	Scheduling in Stapelverarbeitungssystemen . . . . .	200
2.4.3	Scheduling in interaktiven Systemen. . . . .	202
2.4.4	Scheduling in Echtzeitsystemen. . . . .	208
2.4.5	Strategie versus Mechanismus . . . . .	209
2.4.6	Thread-Scheduling . . . . .	210
2.5	Klassische Probleme der Interprozesskommunikation . . . . .	212
2.5.1	Das Philosophenproblem . . . . .	212
2.5.2	Das Leser-Schreiber-Problem . . . . .	215
2.6	Forschung zu Prozessen und Threads . . . . .	217
	Zusammenfassung. . . . .	218
	Übungen . . . . .	219
<b>Kapitel 3 Speicherverwaltung</b>		<b>227</b>
3.1	Systeme ohne Speicherabstraktion . . . . .	229
3.2	Speicherabstraktion: Adressräume. . . . .	232
3.2.1	Das Konzept des Adressraumes . . . . .	233
3.2.2	Swapping . . . . .	235
3.2.3	Verwaltung freien Speichers. . . . .	237
3.3	Virtueller Speicher . . . . .	241
3.3.1	Paging. . . . .	242
3.3.2	Seitentabellen . . . . .	246
3.3.3	Beschleunigung des Paging. . . . .	248
3.3.4	Seitentabellen für große Speicherbereiche. . . . .	251
3.4	Seitenersetzungsalgorithmen . . . . .	255
3.4.1	Der optimale Algorithmus zur Seitenersetzung. . . . .	256
3.4.2	Der Not-Recently-Used-Algorithmus (NRU) . . . . .	257
3.4.3	Der First-In-First-Out-Algorithmus (FIFO). . . . .	258
3.4.4	Der Second-Chance-Algorithmus . . . . .	258
3.4.5	Der Clock-Algorithmus . . . . .	259
3.4.6	Der Least-Recently-Used-Algorithmus (LRU) . . . . .	260
3.4.7	Simulation von LRU durch Software . . . . .	261
3.4.8	Der Working-Set-Algorithmus . . . . .	263
3.4.9	Der WSClock-Algorithmus . . . . .	267
3.4.10	Zusammenfassung der Seitenersetzungsstrategien . . . . .	269
3.5	Entwurfskriterien für Paging-Systeme . . . . .	270
3.5.1	Lokale versus globale Zuteilungsstrategien . . . . .	270
3.5.2	Lastkontrolle . . . . .	273
3.5.3	Seitengröße . . . . .	273

3.5.4	Trennung von Befehls- und Datenräumen . . . . .	275
3.5.5	Gemeinsame Seiten . . . . .	276
3.5.6	Gemeinsame Bibliotheken . . . . .	277
3.5.7	Memory-Mapped-Dateien . . . . .	280
3.5.8	Bereinigungsstrategien . . . . .	280
3.5.9	Schnittstelle des virtuellen Speichersystems . . . . .	281
3.6	Implementierungsaspekte . . . . .	282
3.6.1	Aufgaben des Betriebssystems beim Paging . . . . .	282
3.6.2	Behandlung von Seitenfehlern . . . . .	283
3.6.3	Sicherung von unterbrochenen Befehlen . . . . .	284
3.6.4	Sperren von Seiten im Speicher . . . . .	285
3.6.5	Hintergrundspeicher . . . . .	286
3.6.6	Trennung von Strategie und Mechanismus . . . . .	288
3.7	Segmentierung . . . . .	289
3.7.1	Implementierung von Segmentierung . . . . .	293
3.7.2	Segmentierung mit Paging: MULTICS . . . . .	294
3.7.3	Segmentierung mit Paging: der Intel Pentium . . . . .	297
3.8	Forschung zur Speicherverwaltung . . . . .	302
	Zusammenfassung . . . . .	303
	Übungen . . . . .	304
 <b>Kapitel 4 Dateisysteme</b>		 313
4.1	Dateien . . . . .	316
4.1.1	Benennung von Dateien . . . . .	316
4.1.2	Dateistruktur . . . . .	318
4.1.3	Dateitypen . . . . .	319
4.1.4	Dateizugriff . . . . .	321
4.1.5	Dateiattribute . . . . .	322
4.1.6	Dateioperationen . . . . .	324
4.1.7	Beispielprogramm mit Aufrufen zum Dateisystem . . . . .	325
4.2	Verzeichnisse . . . . .	328
4.2.1	Verzeichnissysteme mit einer Ebene . . . . .	328
4.2.2	Hierarchische Verzeichnissysteme . . . . .	329
4.2.3	Pfadnamen . . . . .	329
4.2.4	Operationen auf Verzeichnissen . . . . .	332
4.3	Implementierung von Dateisystemen . . . . .	333
4.3.1	Layout eines Dateisystems . . . . .	333
4.3.2	Implementierung von Dateien . . . . .	334
4.3.3	Implementierung von Verzeichnissen . . . . .	340
4.3.4	Gemeinsam benutzte Dateien . . . . .	343
4.3.5	Log-basierte Dateisysteme . . . . .	346
4.3.6	Journaling-Dateisysteme . . . . .	348
4.3.7	Virtuelle Dateisysteme . . . . .	350
4.4	Dateisystemverwaltung und -optimierung . . . . .	353
4.4.1	Plattenspeicherverwaltung . . . . .	354
4.4.2	Sicherung von Dateisystemen . . . . .	361
4.4.3	Konsistenz eines Dateisystems . . . . .	367

4.4.4	Performanz eines Dateisystems.....	371
4.4.5	Defragmentierung von Plattenspeicher .....	376
4.5	Beispiele von Dateisystemen .....	377
4.5.1	CD-ROM-Dateisysteme .....	377
4.5.2	Das MS-DOS-Dateisystem.....	383
4.5.3	Das UNIX-V7-Dateisystem .....	386
4.6	Forschung zu Dateisystemen .....	389
	Zusammenfassung.....	390
	Übungen .....	390
<b>Kapitel 5 Eingabe und Ausgabe</b>		<b>395</b>
5.1	Grundlagen der Ein-/Ausgabe-Hardware.....	396
5.1.1	Ein-/Ausgabegeräte .....	396
5.1.2	Controller.....	398
5.1.3	Memory-Mapped-Ein-/Ausgabe .....	399
5.1.4	Direct Memory Access (DMA) .....	403
5.1.5	Interrupts .....	406
5.2	Grundlagen der Ein-/Ausgabe-Software .....	411
5.2.1	Ziele von Ein-/Ausgabe-Software.....	411
5.2.2	Programmierte Ein-/Ausgabe .....	413
5.2.3	Interruptgesteuerte Ein-/Ausgabe.....	414
5.2.4	Ein-/Ausgabe mit DMA .....	415
5.3	Schichten der Ein-/Ausgabe-Software .....	416
5.3.1	Unterbrechungsroutinen.....	417
5.3.2	Gerätetreiber .....	418
5.3.3	Geräteunabhängige Ein-/Ausgabe-Software .....	422
5.3.4	Ein-/Ausgabe-Software im Benutzeradressraum .....	428
5.4	Plattenspeicher .....	430
5.4.1	Hardware von Plattenspeichern .....	430
5.4.2	Formatierung von Plattenspeichern .....	447
5.4.3	Strategien zur Steuerung des Plattenarms .....	451
5.4.4	Fehlerbehandlung.....	454
5.4.5	Zuverlässiger Speicher .....	457
5.5	Uhren.....	461
5.5.1	Hardwareuhren .....	461
5.5.2	Softwareuhren .....	463
5.5.3	Soft-Timer .....	466
5.6	Benutzungsschnittstellen: Tastatur, Maus, Bildschirm.....	467
5.6.1	Eingabe-Software.....	468
5.6.2	Ausgabe-Software .....	473
5.7	Thin Clients.....	490
5.8	Energieverwaltung .....	492
5.8.1	Hardwareaspekte.....	493
5.8.2	Betriebssystemaspekte .....	495
5.8.3	Energieverwaltung und Anwendungsprogramme .....	500

5.9	Forschung im Bereich Ein-/Ausgabe .....	502
	Zusammenfassung .....	503
	Übungen .....	504
<b>Kapitel 6 Deadlocks</b>		<b>511</b>
6.1	Ressourcen .....	513
6.1.1	Unterbrechbare und nicht unterbrechbare Ressourcen .....	513
6.1.2	Ressourcenanforderung .....	514
6.2	Einführung in Deadlocks .....	516
6.2.1	Voraussetzungen für Ressourcen-Deadlocks .....	517
6.2.2	Modellierung von Deadlocks .....	517
6.3	Der Vogel-Strauß-Algorithmus .....	520
6.4	Erkennen und Beheben von Deadlocks .....	521
6.4.1	Deadlock-Erkennung bei einer Ressource je Typ .....	521
6.4.2	Deadlock-Erkennung bei mehreren Ressourcen je Typ .....	523
6.4.3	Beheben von Deadlocks .....	526
6.5	Verhinderung von Deadlocks (Avoidance) .....	528
6.5.1	Ressourcenspuren .....	528
6.5.2	Sichere und unsichere Zustände .....	529
6.5.3	Der Bankier-Algorithmus für eine einzelne Ressource .....	531
6.5.4	Der Bankier-Algorithmus für mehrere Ressourcen .....	532
6.6	Vermeidung von Deadlocks (Prevention) .....	533
6.6.1	Unterlaufen der Bedingung des wechselseitigen Ausschlusses .....	534
6.6.2	Unterlaufen der Hold-and-Wait-Bedingung .....	534
6.6.3	Unterlaufen der Bedingung der Ununterbrechbarkeit .....	535
6.6.4	Unterlaufen der zyklischen Wartebedingung .....	535
6.7	Weitere Themen zu Deadlocks .....	536
6.7.1	Zwei-Phasen-Sperren .....	537
6.7.2	Kommunikationsdeadlocks .....	537
6.7.3	Livelock .....	539
6.7.4	Verhungern .....	541
6.8	Forschung zu Deadlocks .....	541
	Zusammenfassung .....	542
	Übungen .....	543
<b>Kapitel 7 Multimedia-Betriebssysteme</b>		<b>549</b>
7.1	Einführung in Multimedia .....	551
7.2	Multimedia-Dateien .....	555
7.2.1	Codierung von Videodaten .....	557
7.2.2	Codierung von Audiodaten .....	560
7.3	Videokompression .....	561
7.3.1	Der JPEG-Standard .....	562
7.3.2	Der MPEG-Standard .....	565
7.4	Audiokompression .....	568
7.5	Multimedia-Prozess-Scheduling .....	572
7.5.1	Scheduling von homogenen Prozessen .....	572
7.5.2	Allgemeines Echtzeit-Scheduling .....	573

7.5.3	Raten-monotones Scheduling . . . . .	574
7.5.4	Earliest-Deadline-First-Scheduling. . . . .	576
7.6	Modelle für Multimedia-Dateisysteme. . . . .	578
7.6.1	Videorecorder-Steuerfunktionen . . . . .	579
7.6.2	Near-Video-on-Demand. . . . .	581
7.6.3	Near-Video-on-Demand mit Videorecorder-Steuerfunktionen . . . . .	583
7.7	Dateiplatzierung . . . . .	585
7.7.1	Platzierung einer Datei auf einer einzelnen Platte. . . . .	585
7.7.2	Zwei alternative Strategien zur Dateioorganisation. . . . .	586
7.7.3	Platzierung von Dateien für Near-Video-on-Demand . . . . .	590
7.7.4	Platzierung mehrerer Dateien auf einer einzelnen Platte . . . . .	592
7.7.5	Platzierung von Dateien auf mehreren Platten. . . . .	594
7.8	Caching . . . . .	596
7.8.1	Block-Caching . . . . .	597
7.8.2	Datei-Caching. . . . .	599
7.9	Plattenspeicher-Scheduling für Multimedia . . . . .	599
7.9.1	Statisches Plattenspeicher-Scheduling. . . . .	599
7.9.2	Dynamisches Plattenspeicher-Scheduling . . . . .	601
7.10	Forschung im Bereich Multimedia. . . . .	603
	Zusammenfassung. . . . .	604
	Übungen . . . . .	605
 <b>Kapitel 8 Multiprozessorsysteme</b>		 611
8.1	Multiprozessoren . . . . .	615
8.1.1	Hardware von Multiprozessoren . . . . .	615
8.1.2	Betriebssystemarten für Multiprozessoren. . . . .	624
8.1.3	Synchronisation in Multiprozessorsystemen. . . . .	628
8.1.4	Multiprozessor-Scheduling. . . . .	633
8.2	Multicomputer . . . . .	639
8.2.1	Hardware von Multicomputern . . . . .	640
8.2.2	Low-Level-Kommunikationssoftware. . . . .	644
8.2.3	Kommunikationssoftware auf Benutzerebene . . . . .	646
8.2.4	Entfernter Prozeduraufruf (RPC). . . . .	650
8.2.5	Distributed Shared Memory . . . . .	652
8.2.6	Multicomputer-Scheduling. . . . .	657
8.2.7	Lastausgleich . . . . .	658
8.3	Virtualisierung. . . . .	661
8.3.1	Anforderungen für die Virtualisierung. . . . .	663
8.3.2	Typ-1-Hypervisor . . . . .	664
8.3.3	Typ-2-Hypervisor . . . . .	665
8.3.4	Paravirtualisierung . . . . .	667
8.3.5	Speichervirtualisierung. . . . .	669
8.3.6	Ein-/Ausgabevirtualisierung . . . . .	671
8.3.7	Virtual Appliances . . . . .	672
8.3.8	Virtuelle Maschinen bei Mehrkernprozessoren. . . . .	673
8.3.9	Fragen bezüglich der Lizenzierung. . . . .	674

8.4	Verteilte Systeme . . . . .	674
8.4.1	Netzwerkhardware . . . . .	677
8.4.2	Netzwerkdienste und -protokolle . . . . .	680
8.4.3	Dokumentenbasierte Middleware . . . . .	684
8.4.4	Dateisystembasierte Middleware. . . . .	686
8.4.5	Objektbasierte Middleware . . . . .	691
8.4.6	Koordinationsbasierte Middleware. . . . .	692
8.4.7	Grid-Systeme . . . . .	698
8.5	Forschung zu Multiprozessorsystemen . . . . .	699
	Zusammenfassung. . . . .	700
	Übungen. . . . .	701
<b>Kapitel 9 IT-Sicherheit</b>		<b>709</b>
9.1	Die Sicherheitsumgebung . . . . .	712
9.1.1	Bedrohungen . . . . .	712
9.1.2	Angreifer. . . . .	714
9.1.3	Unbeabsichtigter Datenverlust . . . . .	715
9.2	Grundlagen der Kryptografie. . . . .	715
9.2.1	Symmetrische Kryptografie . . . . .	717
9.2.2	Public-Key-Kryptografie . . . . .	717
9.2.3	Einwegfunktionen . . . . .	719
9.2.4	Digitale Signaturen. . . . .	719
9.2.5	Trusted Platform Module (TPM). . . . .	721
9.3	Schutzmechanismen . . . . .	722
9.3.1	Schutzdomänen . . . . .	722
9.3.2	Zugriffskontrolllisten. . . . .	724
9.3.3	Capabilities. . . . .	727
9.3.4	Vertrauenswürdige Systeme . . . . .	730
9.3.5	Trusted Computing Base . . . . .	732
9.3.6	Formale Modelle von sicheren Systemen. . . . .	733
9.3.7	Multilevel-Sicherheit. . . . .	735
9.3.8	Verdeckte Kanäle . . . . .	737
9.4	Authentifizierung . . . . .	742
9.4.1	Authentifizierung durch Passwörter. . . . .	743
9.4.2	Authentifizierung durch Besitz. . . . .	753
9.4.3	Biometrische Authentifizierung . . . . .	756
9.5	Insider-Angriffe . . . . .	758
9.5.1	Logische Bomben. . . . .	759
9.5.2	Falltüren. . . . .	760
9.5.3	Login-Spoofing. . . . .	761
9.6	Das Ausnutzen von Programmierfehlern . . . . .	762
9.6.1	Pufferüberlaufangriffe . . . . .	763
9.6.2	Formatstring-Angriffe . . . . .	765
9.6.3	Return-to-libc-Angriffe. . . . .	767
9.6.4	Angriffe durch Ganzzahlüberlauf . . . . .	769
9.6.5	Angriffe durch Code-Injektion. . . . .	769
9.6.6	Privilege-Escalation-Angriff. . . . .	771

9.7	Malware .....	771
9.7.1	Trojanische Pferde .....	774
9.7.2	Viren .....	777
9.7.3	Würmer .....	788
9.7.4	Spyware .....	791
9.7.5	Rootkits .....	795
9.8	Abwehrmechanismen .....	800
9.8.1	Firewalls .....	800
9.8.2	Antiviren- und Anti-Antivirentechniken .....	802
9.8.3	Codesignierung .....	809
9.8.4	Jailing .....	811
9.8.5	Modellbasierte Angriffserkennung .....	812
9.8.6	Kapselung von mobilem Code .....	814
9.8.7	Java-Sicherheit .....	818
9.9	Forschung zum Thema IT-Sicherheit .....	821
	Zusammenfassung .....	822
	Übungen .....	823
<b>Kapitel 10 Fallstudie 1: Linux</b> .....		<b>831</b>
10.1	Die Geschichte von UNIX und Linux .....	833
10.1.1	UNICS .....	833
10.1.2	PDP-11-UNIX .....	834
10.1.3	Portable UNIX-Varianten .....	835
10.1.4	Berkeley-UNIX .....	836
10.1.5	Standard-UNIX .....	837
10.1.6	MINIX .....	838
10.1.7	Linux .....	839
10.2	Überblick über Linux .....	842
10.2.1	Ziele von Linux .....	842
10.2.2	Schnittstellen zu Linux .....	843
10.2.3	Die Shell .....	845
10.2.4	Hilfsprogramme unter Linux .....	848
10.2.5	Kernstruktur .....	851
10.3	Prozesse in Linux .....	853
10.3.1	Grundlegende Konzepte .....	854
10.3.2	Systemaufrufe zur Prozessverwaltung in Linux .....	857
10.3.3	Implementierung von Prozessen und Threads in Linux .....	861
10.3.4	Scheduling in Linux .....	868
10.3.5	Starten von Linux .....	871
10.4	Speicherverwaltung in Linux .....	874
10.4.1	Grundlegende Konzepte .....	874
10.4.2	Systemaufrufe zur Speicherverwaltung in Linux .....	878
10.4.3	Implementierung der Speicherverwaltung in Linux .....	879
10.4.4	Paging in Linux .....	885
10.5	Ein-/Ausgabe in Linux .....	889
10.5.1	Grundlegende Konzepte .....	889
10.5.2	Netzwerkimplementierung .....	891

10.5.3	Systemaufrufe zur Ein-/Ausgabe in Linux . . . . .	892
10.5.4	Implementierung der Ein-/Ausgabe in Linux . . . . .	893
10.5.5	Linux-Kernmodule . . . . .	897
10.6	Das Linux-Dateisystem . . . . .	898
10.6.1	Grundlegende Konzepte . . . . .	898
10.6.2	Systemaufrufe zur Dateiverwaltung in Linux . . . . .	903
10.6.3	Implementierung des Linux-Dateisystems . . . . .	907
10.6.4	NFS – das Netzwerkdateisystem . . . . .	916
10.7	Sicherheit in Linux . . . . .	923
10.7.1	Grundlegende Konzepte . . . . .	923
10.7.2	Systemaufrufe zu Sicherheitsfunktionen in Linux . . . . .	925
10.7.3	Implementierung von Sicherheitsfunktionen in Linux . . . . .	926
	Zusammenfassung . . . . .	927
	Übungen . . . . .	929
 <b>Kapitel 11 Fallstudie 2: Windows Vista</b>		935
11.1	Die Geschichte von Windows Vista . . . . .	936
11.1.1	Die 1980er: MS-DOS . . . . .	937
11.1.2	Die 1990er: MS-DOS-basiertes Windows . . . . .	937
11.1.3	Die 2000er: NT-basiertes Windows . . . . .	938
11.1.4	Windows Vista . . . . .	941
11.2	Programmierung von Windows Vista . . . . .	942
11.2.1	Die native NT-Programmierschnittstelle . . . . .	945
11.2.2	Die Win32-Programmierschnittstelle . . . . .	949
11.2.3	Die Windows-Registrierungsdatenbank . . . . .	953
11.3	Systemstruktur . . . . .	956
11.3.1	Betriebssystemstruktur . . . . .	957
11.3.2	Starten von Windows Vista . . . . .	973
11.3.3	Implementierung des Objekt-Managers . . . . .	974
11.3.4	Subsysteme, DLLs und Dienste im Benutzermodus . . . . .	986
11.4	Prozesse und Threads in Windows Vista . . . . .	989
11.4.1	Grundlegende Konzepte . . . . .	989
11.4.2	API-Aufrufe zur Job-, Prozess-, Thread- und Fiberverwaltung . . . . .	994
11.4.3	Implementierung von Prozessen und Threads . . . . .	1000
11.5	Speicherverwaltung . . . . .	1009
11.5.1	Grundlegende Konzepte . . . . .	1009
11.5.2	Systemaufrufe zur Speicherverwaltung . . . . .	1014
11.5.3	Implementierung der Speicherverwaltung . . . . .	1016
11.6	Caching in Windows Vista . . . . .	1026
11.7	Ein-/Ausgabe in Windows Vista . . . . .	1028
11.7.1	Grundlegende Konzepte . . . . .	1028
11.7.2	API-Aufrufe für die Ein-/Ausgabe . . . . .	1030
11.7.3	Implementierung der Ein-/Ausgabe . . . . .	1033
11.8	Das Windows-NT-Dateisystem . . . . .	1039
11.8.1	Grundlegende Konzepte . . . . .	1040
11.8.2	Implementierung des NT-Dateisystems . . . . .	1041

11.9	IT-Sicherheit in Windows Vista .....	1052
11.9.1	API-Aufrufe zu Sicherheitsfunktionen .....	1056
11.9.2	Implementierung von Sicherheitsfunktionen .....	1057
	Zusammenfassung .....	1060
	Übungen .....	1061
<b>Kapitel 12 Fallstudie 3: Symbian OS</b>		<b>1065</b>
12.1	Die Geschichte von Symbian OS .....	1067
12.1.1	Die Wurzeln von Symbian OS: Psion und EPOC .....	1067
12.1.2	Symbian OS Version 6 .....	1068
12.1.3	Symbian OS Version 7 .....	1069
12.1.4	Symbian OS heute .....	1069
12.2	Überblick über Symbian OS .....	1070
12.2.1	Objektorientierung .....	1070
12.2.2	Mikrokern-Design .....	1071
12.2.3	Der Nanokern von Symbian OS .....	1072
12.2.4	Client-Server-Ressourcenzugriff .....	1073
12.2.5	Merkmale eines größeren Betriebssystems .....	1074
12.2.6	Kommunikation und Multimedia .....	1074
12.3	Prozesse und Threads in Symbian OS .....	1075
12.3.1	Threads und Nanothreads .....	1075
12.3.2	Prozesse .....	1077
12.3.3	Aktive Objekte .....	1077
12.3.4	Interprozesskommunikation .....	1078
12.4	Speicherverwaltung .....	1079
12.4.1	Systeme ohne virtuellen Speicher .....	1079
12.4.2	Wie Symbian OS den Speicher adressiert .....	1081
12.5	Eingabe und Ausgabe .....	1083
12.5.1	Gerätetreiber .....	1083
12.5.2	Kernerweiterungen .....	1084
12.5.3	Direct Memory Access .....	1085
12.5.4	Spezialfall: Speichermedien .....	1085
12.5.5	Blockieren der Ein-/Ausgabe .....	1086
12.5.6	Wechseldatenträger .....	1086
12.6	Speichersysteme .....	1087
12.6.1	Dateisysteme für mobile Geräte .....	1087
12.6.2	Das Symbian-OS-Dateisystem .....	1088
12.6.3	Dateisystemsicherheit und -schutz .....	1088
12.7	IT-Sicherheit in Symbian OS .....	1089
12.8	Kommunikation in Symbian OS .....	1092
12.8.1	Basisinfrastruktur .....	1092
12.8.2	Ein genauerer Blick auf die Infrastruktur .....	1093
	Zusammenfassung .....	1096
	Übungen .....	1097

<b>Kapitel 13</b>	<b>Entwurf von Betriebssystemen</b>	1099
13.1	Das Problem des Entwurfs. . . . .	1101
13.1.1	Ziele . . . . .	1101
13.1.2	Warum ist es schwierig, ein Betriebssystem zu entwerfen? . . .	1102
13.2	Schnittstellenentwurf . . . . .	1104
13.2.1	Leitlinien . . . . .	1105
13.2.2	Paradigmen . . . . .	1106
13.2.3	Die Systemaufrufchnittstelle . . . . .	1110
13.3	Implementierung . . . . .	1113
13.3.1	Systemstruktur . . . . .	1113
13.3.2	Mechanismus versus Strategie . . . . .	1117
13.3.3	Orthogonalität . . . . .	1118
13.3.4	Namensräume. . . . .	1119
13.3.5	Zeitpunkt des Bindens. . . . .	1121
13.3.6	Statische versus dynamische Strukturen . . . . .	1122
13.3.7	Top-down- versus Bottom-up-Implementierung . . . . .	1123
13.3.8	Nützliche Techniken . . . . .	1124
13.4	Performanz. . . . .	1130
13.4.1	Warum sind Betriebssysteme langsam? . . . . .	1130
13.4.2	Was sollte verbessert werden? . . . . .	1131
13.4.3	Der Zielkonflikt zwischen Laufzeit und Speicherplatz . . . . .	1132
13.4.4	Caching. . . . .	1135
13.4.5	Hints . . . . .	1136
13.4.6	Ausnutzen der Lokalität . . . . .	1137
13.4.7	Optimieren des Normalfalls . . . . .	1137
13.5	Projektverwaltung . . . . .	1138
13.5.1	Der Mythos vom Mann-Monat. . . . .	1138
13.5.2	Teamstruktur . . . . .	1140
13.5.3	Die Bedeutung der Erfahrung . . . . .	1142
13.5.4	No Silver Bullet . . . . .	1143
13.6	Trends beim Entwurf von Betriebssystemen . . . . .	1143
13.6.1	Virtualisierung . . . . .	1143
13.6.2	Mehrkern-Prozessoren . . . . .	1144
13.6.3	Betriebssysteme mit großem Adressraum . . . . .	1144
13.6.4	Netzwerkfähigkeiten . . . . .	1145
13.6.5	Parallele und verteilte Systeme. . . . .	1146
13.6.6	Multimedia . . . . .	1146
13.6.7	Batteriebetriebene Computer . . . . .	1146
13.6.8	Eingebettete Systeme . . . . .	1147
13.6.9	Sensorknoten . . . . .	1148
	Zusammenfassung . . . . .	1148
	Übungen . . . . .	1149

<b>Kapitel 14</b>	<b>Bibliografie</b>	1153
14.1	Empfehlungen für weiterführende Literatur . . . . .	1154
14.1.1	Einführung und allgemeine Werke. . . . .	1154
14.1.2	Prozesse und Threads . . . . .	1155
14.1.3	Speicherverwaltung. . . . .	1155
14.1.4	Ein- und Ausgabe . . . . .	1156
14.1.5	Dateisysteme . . . . .	1156
14.1.6	Deadlocks. . . . .	1156
14.1.7	Multimedia-Betriebssysteme. . . . .	1157
14.1.8	Multiprozessorsysteme . . . . .	1157
14.1.9	IT-Sicherheit . . . . .	1158
14.1.10	Linux . . . . .	1160
14.1.11	Windows Vista. . . . .	1161
14.1.12	Symbian OS. . . . .	1161
14.1.13	Entwurfsprinzipien . . . . .	1162
14.2	Alphabetische Literaturliste . . . . .	1163
	<b>Fachwörterverzeichnis</b>	1199
	<b>Namensregister</b>	1219
	<b>Register</b>	1221