

**Andrew S. Tanenbaum
Maarten van Steen**

Verteilte Systeme

Prinzipien und Paradigmen

2., aktualisierte Auflage

PEARSON

Studium

Ein Imprint von Pearson Education
München • Berlin • San Francisco • Harlow, England
Don Mills, Ontario • Sydney • Mexico City
Madrid • Amsterdam

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	13
Kapitel 1 Einleitung	17
1.1 Definition eines verteilten Systems	19
1.2 Ziele	20
1.2.1 Zugriff auf Ressourcen	20
1.2.2 Verteilungstransparenz	21
1.2.3 Offenheit	25
1.2.4 Skalierbarkeit	26
1.2.5 Typische Fehlannahmen	33
1.3 Klassen verteilter Systeme	34
1.3.1 Verteilte Computersysteme	34
1.3.2 Verteilte Informationssysteme	37
1.3.3 Verteilte Pervasive Systeme	42
Zusammenfassung	48
Aufgaben	49
Kapitel 2 Architekturen	51
2.1 Architekturstile	53
2.2 Systemarchitekturen	55
2.2.1 Zentralisierte Architekturen	55
2.2.2 Dezentralisierte Architekturen	62
2.2.3 Hybridarchitekturen	70
2.3 Architekturen und Middleware	72
2.3.1 Interzeptoren	73
2.3.2 Allgemeine Ansätze für adaptive Software	75
2.3.3 Erörterung	76
2.4 Selbstmanagement in verteilten Systemen	77
2.4.1 Modell der Rückkopplungssteuerung	77
2.4.2 Systemüberwachung mit Astrolabe	80
2.4.3 Unterscheidung von Replikationsstrategien in Globule	82
2.4.4 Automatische Reparatur von Komponenten in Jade	85
Zusammenfassung	87
Aufgaben	88
Kapitel 3 Prozesse	91
3.1 Threads	93
3.1.1 Einführung in Threads	93
3.1.2 Threads in verteilten Systemen	98

3.2	Virtualisierung	101
3.2.1	Die Rolle der Virtualisierung in verteilten Systemen	102
3.2.2	Architekturen virtueller Maschinen	103
3.3	Clients	104
3.3.1	Vernetzte Benutzerschnittstellen	105
3.3.2	Clientseitige Software für die Verteilungstransparenz	109
3.4	Server	110
3.4.1	Allgemeine Entwurfsfragen	110
3.4.2	Servercluster	114
3.4.3	Servercluster verwalten	119
3.5	Codemigration	126
3.5.1	Ansätze zur Codemigration	126
3.5.2	Migration und lokale Ressourcen	130
3.5.3	Migration in heterogenen Systemen	132
	Zusammenfassung	135
	Aufgaben	136
 Kapitel 4 Kommunikation		 139
4.1	Grundlagen	141
4.1.1	Protokollschichten	141
4.1.2	Arten der Kommunikation	148
4.2	Entfernter Prozeduraufruf (Remote Procedure Call, RPC)	150
4.2.1	Grundlagen der RPC-Verwendung	150
4.2.2	Übergabe von Parametern	154
4.2.3	Asynchrone RPCs	158
4.2.4	DCE-RPC	160
4.3	Nachrichtenorientierte Kommunikation	166
4.3.1	Nachrichtenorientierte flüchtige Kommunikation	166
4.3.2	Nachrichtenorientierte persistente Kommunikation	170
4.3.3	Das Warteschlangensystem WebSphere von IBM	178
4.4	Streamorientierte Kommunikation	184
4.4.1	Unterstützung für kontinuierliche Medien	184
4.4.2	Streams und Dienstgüte	186
4.4.3	Synchronisierung von Streams	189
4.5	Multicast-Kommunikation	192
4.5.1	Multicast auf Anwendungsebene	192
4.5.2	Gossip-basierte Datenverbreitung	196
	Zusammenfassung	201
	Aufgaben	203

Kapitel 5	Benennung und Namenssysteme	207
5.1	Namen, Bezeichner und Adressen	209
5.2	Lineare Benennung	211
5.2.1	Einfache Lösungen	211
5.2.2	Heimatgestützte Ansätze	215
5.2.3	Verteilte Hash-Tabellen	216
5.2.4	Hierarchische Ansätze	220
5.3	Hierarchische Benennung	223
5.3.1	Namensräume	223
5.3.2	Namensauflösung	226
5.3.3	Die Implementierung eines Namensraumes	230
5.3.4	DNS	238
5.4	Attributbasierte Benennung	246
5.4.1	Verzeichnisdienste	246
5.4.2	Hierarchische Implementierungen: LDAP	247
5.4.3	Dezentrale Implementierungen	251
	Zusammenfassung	256
	Aufgaben	258
Kapitel 6	Synchronisierung	261
6.1	Uhrensynchronisierung	263
6.1.1	Physikalische Uhren	264
6.1.2	Global Positioning System (GPS)	267
6.1.3	Algorithmen zur Uhrzeitsynchronisierung	269
6.2	Logische Uhren	274
6.2.1	Die logischen Uhren von Lamport	275
6.2.2	Vektoruhren	278
6.3	Gegenseitiger Ausschluss	282
6.3.1	Überblick	282
6.3.2	Ein zentralisierter Algorithmus	282
6.3.3	Ein dezentraler Algorithmus	284
6.3.4	Ein verteilter Algorithmus	285
6.3.5	Ein Token-Ring-Algorithmus	287
6.3.6	Die vier Algorithmen im Vergleich	289
6.4	Globale Positionierung von Knoten	290
6.5	Wahlalgorithmen	293
6.5.1	Herkömmliche Wahlalgorithmen	293
6.5.2	Wahlalgorithmen in drahtlosen Umgebungen	296
6.5.3	Wahlalgorithmen in großmaßstäblichen Systemen	298
	Zusammenfassung	300
	Aufgaben	301
Kapitel 7	Konsistenz und Replikation	303
7.1	Einführung	305
7.1.1	Gründe für Replikation	305
7.1.2	Replikation als Skalierungstechnik	306

7.2	Datenzentrierte Konsistenzmodelle	307
7.2.1	Stufenlose Konsistenz	308
7.2.2	Konsistente Anordnung von Operationen	312
7.3	Client-zentrierte Konsistenzmodelle	319
7.3.1	Eventual Consistency	319
7.3.2	Monotones Lesen	322
7.3.3	Monotones Schreiben	323
7.3.4	»Read Your Writes«-Konsistenz	324
7.3.5	»Writes Follow Reads«-Konsistenz	325
7.4	Replikationsverwaltung	326
7.4.1	Platzierung der Replikatserver	327
7.4.2	Replikation und Platzierung von Inhalten	328
7.4.3	Verteilung von Inhalten	332
7.5	Konsistenzprotokolle	336
7.5.1	Stufenlose Konsistenz	337
7.5.2	Urbildbasierte Protokolle (Primary-Based Protocols)	339
7.5.3	Protokolle für replizierte Schreibvorgänge	342
7.5.4	Cache-Kohärenzprotokolle	344
7.5.5	Implementieren der clientzentrierten Konsistenz	346
	Zusammenfassung	349
	Aufgaben	351
Kapitel 8 Fehlertoleranz		353
8.1	Einführung in die Fehlertoleranz	355
8.1.1	Grundbegriffe	355
8.1.2	Fehlermodelle	357
8.1.3	Maskierung des Ausfalls durch Redundanz	359
8.2	Belastbarkeit von Prozessen	361
8.2.1	Entwurfsfragen	361
8.2.2	Maskierung von Ausfällen und Replikation	363
8.2.3	Übereinstimmung in fehlerhaften Systemen	364
8.2.4	Erkennung von Ausfällen (Failure Detection)	368
8.3	Zuverlässige Client-Server-Kommunikation	369
8.3.1	Punkt-zu-Punkt-Kommunikation	370
8.3.2	RPC-Semantik bei Fehlern	370
8.4	Zuverlässige Gruppenkommunikation	376
8.4.1	Grundlegende Verfahren für zuverlässiges Multicasting	376
8.4.2	Skalierbarkeit beim zuverlässigen Multicasting	378
8.4.3	Atomares Multicasting	381
8.5	Verteilter Commit	387
8.5.1	Zwei-Phasen-Commit	388
8.5.2	Drei-Phasen-Commit	393

8.6	Wiederherstellung (Recovery)	396
8.6.1	Einführung	396
8.6.2	Kontrollpunkt (Checkpoint)	400
8.6.3	Nachrichtenprotokollierung	403
8.6.4	Wiederherstellungsorientierte Datenverarbeitung	405
	Zusammenfassung	407
	Aufgaben	408
Kapitel 9	Sicherheit	411
9.1	Einführung in das Thema Sicherheit	413
9.1.1	Sicherheitsbedrohungen, -richtlinien und -mechanismen	413
9.1.2	Entwurfsfragen	420
9.1.3	Kryptografie	424
9.2	Sichere Kanäle	432
9.2.1	Authentifizierung	433
9.2.2	Nachrichtenintegrität und Vertraulichkeit	440
9.2.3	Sichere Gruppenkommunikation	444
9.2.4	Kerberos	447
9.3	Zugriffssteuerung	450
9.3.1	Allgemeine Aspekte der Zugriffssteuerung	450
9.3.2	Firewalls	454
9.3.3	Sicherer mobiler Code	456
9.3.4	DoS-Angriffe (Denial of Service)	463
9.4	Sicherheitsverwaltung	464
9.4.1	Schlüsselverwaltung	464
9.4.2	Sichere Gruppenverwaltung	468
9.4.3	Autorisierungsverwaltung	470
	Zusammenfassung	475
	Aufgaben	476
Kapitel 10	Verteilte objektbasierte Systeme	479
10.1	Architektur	481
10.1.1	Verteilte Objekte	481
10.1.2	Enterprise Java Beans	484
10.1.3	Verteilte gemeinsam genutzte Objekte in Globe	486
10.2	Prozesse	489
10.2.1	Objektserver	489
10.2.2	Das Ice-Laufzeitsystem	492
10.3	Kommunikation	494
10.3.1	Clients an Objekte binden	494
10.3.2	Statischer und dynamischer Aufruf entfernter Methoden (Remote Method Invocation, RMI) im Vergleich	496
10.3.3	Übergeben von Parametern	497

10.3.4	Java RMI	499
10.3.5	Objektbasierte Nachrichtenübermittlung	502
10.4	Benennung	505
10.4.1	CORBA-Objektverweise	505
10.4.2	Globe-Objektverweise	507
10.5	Synchronisierung	508
10.6	Konsistenz und Replikation	510
10.6.1	Eintrittskonsistenz	510
10.6.2	Replizierte Aufrufe	513
10.7	Fehlertoleranz	514
10.7.1	Fehlertoleranz in CORBA	515
10.7.2	Fehlertoleranz in Java	518
10.8	Sicherheit	520
10.8.1	Globe	521
10.8.2	Sicherheit für entfernte Objekte	524
	Zusammenfassung	527
	Aufgaben	528
 Kapitel 11 Verteilte Dateisysteme		531
11.1	Architektur	533
11.1.1	Client-Server-Architekturen	533
11.1.2	Clusterbasierte verteilte Dateisysteme	538
11.1.3	Symmetrische Architekturen	540
11.2	Prozesse	542
11.3	Kommunikation	543
11.3.1	RPCs in NFS	543
11.3.2	Das RPC2-Subsystem	544
11.3.3	Dateiorientierte Kommunikation in Plan 9	546
11.4	Namen	548
11.4.1	Namen in NFS	548
11.4.2	Erstellen eines globalen Namensraumes	553
11.5	Synchronisierung	554
11.5.1	Semantik der gemeinsamen Dateiverwendung	555
11.5.2	Dateien sperren	557
11.5.3	Gemeinsame Verwendung von Dateien in Coda	560
11.6	Konsistenz und Replikation	561
11.6.1	Clientseitiger Cache	561
11.6.2	Serverseitige Replikation	565
11.6.3	Replikation in Peer-to-Peer-Dateisystemen	567
11.6.4	Dateireplikation in Grid-Systemen	569
11.7	Fehlertoleranz	570
11.7.1	Umgang mit byzantinischen Fehlern	570
11.7.2	Hohe Verfügbarkeit in Peer-to-Peer-Systemen	572

11.8	Sicherheit	574
11.8.1	Sicherheit in NFS	574
11.8.2	Dezentrale Authentifizierung	577
11.8.3	Sichere Peer-to-Peer-Systeme zur gemeinsamen Verwendung von Dateien	580
	Zusammenfassung	583
	Aufgaben	585

Kapitel 12 Verteilte webbasierte Systeme **587**

12.1	Architektur	589
12.1.1	Herkömmliche webbasierte Systeme	589
12.1.2	Webdienste	593
12.2	Prozesse	597
12.2.1	Clients	597
12.2.2	Der Apache-Webserver	598
12.2.3	Webservercluster	600
12.3	Kommunikation	603
12.3.1	HTTP	603
12.3.2	SOAP	608
12.4	Benennung	610
12.5	Synchronisierung	611
12.6	Konsistenz und Replikation	612
12.6.1	Zwischenspeicherung auf dem Webproxy	613
12.6.2	Replikation für Webhosting-Systeme	615
12.6.3	Replikation von Webanwendungen	621
12.7	Fehlertoleranz	624
12.8	Sicherheit	626
	Zusammenfassung	628
	Aufgaben	629

Kapitel 13 Verteilte koordinationsbasierte Systeme **631**

13.1	Einführung in Koordinationsmodelle	633
13.2	Architekturen	634
13.2.1	Allgemeiner Ansatz	635
13.2.2	Herkömmliche Architekturen	636
13.2.3	Peer-to-Peer-Architekturen	642
13.2.4	Mobilität und Koordination	646
13.3	Prozesse	649
13.4	Kommunikation	649
13.4.1	Inhaltsgesteuertes Routing	649
13.4.2	Unterstützung von kombinierten Abonnements (Subscription) ..	651
13.5	Benennung	651
13.5.1	Zusammengesetzte Ereignisse beschreiben	652
13.5.2	Abgleichen von Ereignissen mit Abonnements	654
13.6	Synchronisierung	655

13.7	Konsistenz und Replikation	655
13.7.1	Statische Ansätze	655
13.7.2	Dynamische Replikation	658
13.8	Fehlertoleranz	660
13.8.1	Zuverlässige Publish/Subscribe-Kommunikation zwischen Anbieter und Abonnent	660
13.8.2	Fehlertoleranz in gemeinsam genutzten Datenräumen	664
13.9	Sicherheit	665
13.9.1	Vertraulichkeit	665
13.9.2	Sichere gemeinsam genutzte Datenräume	668
	Zusammenfassung	669
	Aufgaben	670
Kapitel 14	Literatur und Quellen	673
14.1	Weiterführende Literatur	675
14.1.1	Einführungen und allgemeine Werke	675
14.1.2	Architekturen	675
14.1.3	Prozesse	676
14.1.4	Kommunikation	677
14.1.5	Benennung	677
14.1.6	Synchronisierung	678
14.1.7	Konsistenz und Replikation	679
14.1.8	Fehlertoleranz	679
14.1.9	Sicherheit	680
14.1.10	Verteilte objektbasierte Systeme	681
14.1.11	Verteilte Dateisysteme	682
14.1.12	Verteilte webbasierte Systeme	682
14.1.13	Verteilte koordinationsbasierte Systeme	683
14.2	Quellen	684
	Über die Autoren	719
	Liste mit englischen Begriffen und deren Übersetzung	721
	Liste mit deutschen Begriffen und deren Übersetzung	729
	Register	737