

Erich Ehses | Lutz Köhler | Petra Riemer | Horst Stenzel | Frank Victor

Systemprogrammierung in UNIX / Linux

Erich Ehses | Lutz Köhler | Petra Riemer  
Horst Stenzel | Frank Victor

# Systemprogrammierung in UNIX / Linux

Grundlegende Betriebssystemkonzepte und praxisorientierte  
Anwendungen

Mit 37 Abbildungen

STUDIUM



**VIEWEG+**  
**TEUBNER**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

Das in diesem Werk enthaltene Programm-Material ist mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Der Autor übernimmt infolgedessen keine Verantwortung und wird keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieses Programm-Materials oder Teilen davon entsteht.

Höchste inhaltliche und technische Qualität unserer Produkte ist unser Ziel. Bei der Produktion und Auslieferung unserer Bücher wollen wir die Umwelt schonen: Dieses Buch ist auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt. Die Einschweißfolie besteht aus Polyäthylen und damit aus organischen Grundstoffen, die weder bei der Herstellung noch bei der Verbrennung Schadstoffe freisetzen.

1. Auflage 2012

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2012

Lektorat: Christel Roß | Maren Mithöfer

Vieweg+Teubner Verlag ist eine Marke von Springer Fachmedien.

Springer Fachmedien ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

[www.viewegteubner.de](http://www.viewegteubner.de)



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

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

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg  
Druck und buchbinderische Verarbeitung: AZ Druck und Datentechnik, Berlin  
Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier  
Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-1418-0

# Vorwort

Betriebssystemkonzepte und systemnahe Programmierung sind seit jeher klassische Disziplinen in der Informatik-Ausbildung an Hochschulen. Dieses Lehr- und Übungsbuch wendet sich an Sie, liebe Studierende!

In kompakter Form werden die wichtigsten Betriebssystem-Konzepte erläutert, wobei Praxisbezug und Programmierung von Beispielen in UNIX/Linux im Mittelpunkt stehen. Das Buch ist so gestaltet, dass theoretische und praktische Teile in zehn eigenständigen Modulen behandelt werden. Die für die praktische Anwendung geschriebenen Teile enden jeweils mit Übungsaufgaben zu UNIX/Linux.

An den meisten Hochschulen schließen Fächer, wie Betriebssysteme, mit einer mündlichen Prüfung oder einer Klausur. Wir hoffen, dass unser Lehrbuch Ihnen die Vorbereitung dazu erleichtert und wünschen Ihnen viel Erfolg und Spaß beim Lernen.

Dieses Buch hätte ohne die Hilfe anderer nicht entstehen können.

Einen ganz besonders großen Dank richten wir an Sebastian Walk, der die Endkorrektur und die Koordination übernommen hat.

Norbert Gesper, Karl-Heinz Kohlenbeck und Mario Linke, die uns seit vielen Jahren im Praktikum unterstützen, gebührt unsere Anerkennung ihrer hervorragenden Leistungen. Herzlichen Dank!

Weiterhin bedanken wir uns bei allen Studierenden der Fachhochschule Köln, die uns zur Veröffentlichung dieses Buches ermutigt haben.

*Für Marianne, Sarah und Philipp*

Erich Ehse, Bonn

*Für Manuela, Luisa und Christina*

Frank Victor, Bonn

*Für Caroline, Nicolas, Anna*

Horst Stenzel, Rheinbach

*Für Jens*

Petra Riemer, Gummersbach

Institut für Informatik, Gummersbach, im Juli 2011

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	IX
1 Einführung und Überblick .....	1
1.1 Der Aufbau eines Computersystems .....	1
1.2 Grundbegriffe .....	3
1.3 Betriebssystemstrukturen .....	4
1.4 Geschichtliche Entwicklung .....	7
1.5 Überblick über das Buch .....	9
2 Das Betriebssystem UNIX.....	11
2.1 Grundlagen.....	11
2.2 UNIX- und Linux-Systeme in der Praxis .....	20
2.3 Exkurs: Geschichtliche Entwicklung von UNIX und Linux .....	21
3 Script-Programmierung in UNIX/Linux.....	23
3.1 Was versteht man unter Script-Programmen?.....	23
3.2 Programmierung von UNIX/Linux-Scripten .....	23
3.3 Praxisbeispiele .....	36
3.4 Übungen.....	40
4 UNIX-Prozesse und elementare Kommunikation.....	43
4.1 UNIX-Prozesse .....	43
4.5 Pipes.....	59
4.6 Shared Memory .....	65
4.7 Übungen.....	71
5 Prozessmodell, Nebenläufigkeit und Synchronisation .....	73
5.1 Der Prozessbegriff.....	73
5.2 Parallelität .....	88
5.3 Synchronisationsprimitive für den wechselseitigen Ausschluss .....	92
5.4 Beispiele für Synchronisationsprobleme .....	125
5.5 Übungen.....	134
6 Anwendungsszenarien zur Interprozess-Kommunikation .....	137
6.1 Semaphore und Shared Memory .....	137
6.2 Dateien als Sperrmechanismus .....	143

---

6.3	Nachrichtwarteschlangen .....	144
6.4	Signale.....	150
6.5	Übungen .....	161
7	UNIX-Dateisystem .....	163
7.1	Grundlagen .....	163
7.2	Systemaufrufe zum Dateisystem .....	173
7.3	NFS (Network File System) .....	196
7.4	Übungen .....	202
8	Verteilte Systeme.....	205
8.1	Grundlagen .....	206
8.2	Aufgaben von Kommunikationsprotokollen .....	213
8.3	TCP/IP .....	216
8.4	Sockets .....	221
8.5	Remote Procedure Call.....	235
8.6	Übungen .....	256
9	Strategien zum Scheduling und zur Speicherverwaltung.....	259
9.1	Prozess-Scheduling .....	259
9.2	Scheduling-Verfahren.....	262
9.3	Zweistufiges Scheduling .....	270
9.4	Speicherverwaltung .....	272
9.5	Swapping.....	274
9.6	Paging .....	278
9.7	Übungen .....	286
10	Zusammenfassung und Ausblick .....	287
10.1	Kernideen und wichtige Konzepte aus diesem Buch.....	287
10.2	Die Grenzen des Buches: Was wurde nicht behandelt?.....	287
10.3	Wo findet man weitergehende Informationen? .....	288
	Literatur .....	289
	Internet-Links.....	291
	Installationshinweise für Linux, Eclipse und den C-Compiler.....	293
	Index .....	297

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Schichtenmodell von UNIX.....	12
Abbildung 4-1: Parallelisierung einer Vektoraddition.....	45
Abbildung 4-2: UNIX/Linux-Systemaufruf-Modell .....	46
Abbildung 4-3: UNIX/Linux-Prozesse im Zusammenhang mit login .....	48
Abbildung 4-4: Elementare Prozess-Synchronisation .....	57
Abbildung 4-5: Pipe in UNIX/Linux.....	60
Abbildung 4-6: Erster Schritt der Pipe-Erzeugung: Alle Prozesse haben den Ein- und Ausgang der Pipe zur Verfügung .....	62
Abbildung 4-7: Zweiter Schritt der Pipe-Erzeugung: Jeder Prozess hat nur noch den für ihn relevanten Ein- und Ausgang zur Verfügung.....	62
Abbildung 4-8: Struktur von Shared Memory .....	66
Abbildung 5-1: Prozessmodell .....	77
Abbildung 5-2: Prozessübergangsdiagramm.....	78
Abbildung 5-3: Implementierung von Prozessen.....	80
Abbildung 5-4: Semaphore .....	100
Abbildung 5-5: Das Petrinetz des wechselseitigen Ausschlusses mittels Monitor	112
Abbildung 5-6: Monitorobjekt.....	113
Abbildung 5-7: Das Barrieren-Problem.....	125
Abbildung 5-8: Petrinetz für das Leser-Schreiber-Problem .....	129
Abbildung 5-9: Kreisverkehr .....	131
Abbildung 6-1: Struktur von Nachrichtenwarteschlangen .....	145
Abbildung 7-1: Das Mount-Konzept .....	168
Abbildung 7-2: Der Weg vom Filedeskriptor zum Datenblock.....	188
Abbildung 7-3: Die Verbindung des NFS- und des Mount-Konzepts.....	197
Abbildung 7-4: Das Virtuelle Dateisystem (vgl. [Tanenbaum 2009]) .....	200
Abbildung 8-1: OSI-Modell, Protokoll-Ebenen.....	214
Abbildung 8-2: TCP/IP-Schichtenmodell.....	218
Abbildung 8-3: Aufruf von FTP im TCP/IP-Netz .....	219
Abbildung 8-4: Einbindung von Sockets in UNIX .....	222
Abbildung 8-5: Verbindungsorientierter Server .....	230
Abbildung 8-6: Client-Server-Kommunikation bei RPC .....	238
Abbildung 8-7: RPC-Programmdateien.....	248
Abbildung 9-1: Zweistufiges Scheduling mit CPU- und Speicher-Scheduler .....	271
Abbildung 9-2: Speicherzuteilung beim Swapping.....	274
Abbildung 9-3: Speicherallokation mittels Bitmap.....	275

Abbildung 9-4: Hardwareseitige Unterstützung der Technik des virtuellen Speichers (MMU).....	278
Abbildung 9-5: Organisation des virtuellen und realen Speichers in Seiten und Seitenrahmen sowie deren Abbildung.....	279
Abbildung 9-6: Der Clock-Algorithmus.....	282
Abbildung 9-7: Buddy-Algorithmus zur UNIX-Speicherverwaltung .....	284