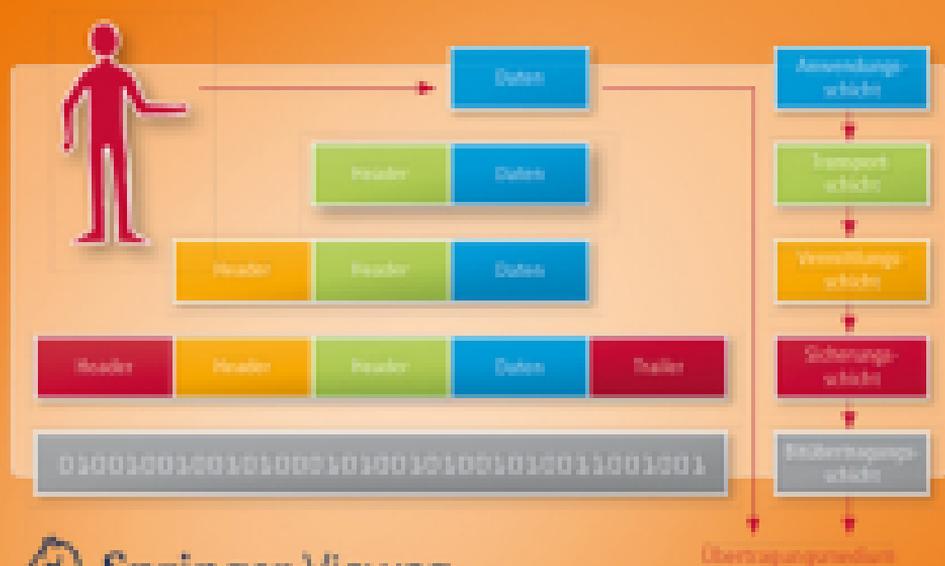


Christian Baum

# Computernetze kompakt

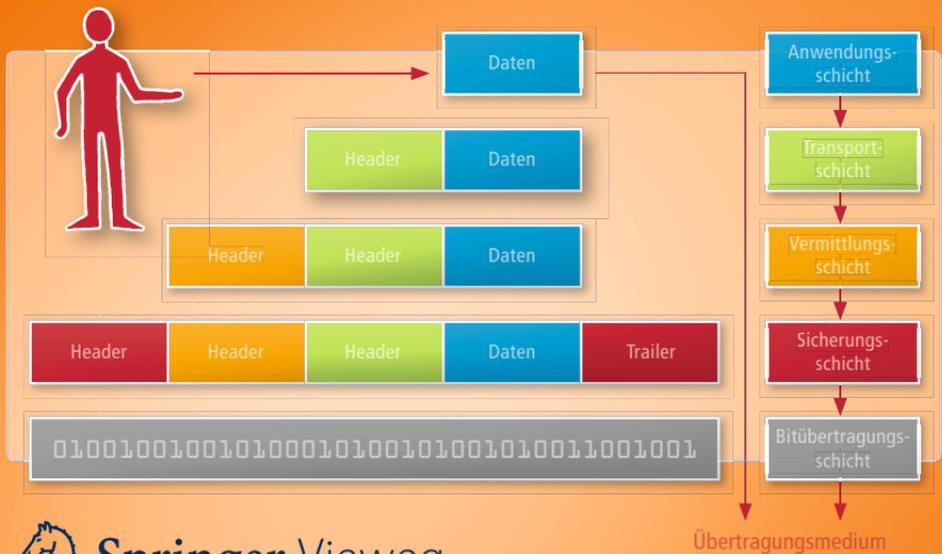
3. Auflage



Christian Baun

# Computernetze kompakt

3. Auflage



Springer Vieweg

IT kompakt

Werke der „kompakt-Reihe“ zu wichtigen Konzepten und Technologien der IT-Branche:

- ermöglichen einen raschen Einstieg,
- bieten einen fundierten Überblick,
- sind praxisorientiert, aktuell und immer ihren Preis wert.

Weitere Titel der Reihe siehe: <http://www.springer.com/series/8297>.

Christian Baun

# Computernetze kompakt

3. Auflage



Springer Vieweg

Christian Baun  
Fachbereich Informatik  
Fachhochschule Frankfurt am Main  
Frankfurt, Deutschland

ISBN 978-3-662-46931-6

ISBN 978-3-662-46932-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-46932-3

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

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012, 2013, 2015

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, 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.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Berlin Heidelberg ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media

([www.springer.com](http://www.springer.com))

---

# Vorwort

---

## Vorwort zur 3. Auflage

Erneut erscheint nach wenig mehr als einem Jahr eine neue Auflage. Diese enthält im Vergleich zur 2. Auflage zahlreiche Korrekturen. Verbessert wurden unter anderem die Abbildungen zu Broadcast-Domänen und Kollisionsdomänen und die Unterscheidung zwischen Router und Layer-3-Switch.

Neu hinzugekommen ist Kapitel 11, das eine Übersicht über wichtige Kommandozeilenwerkzeuge zur Netzwerkkonfiguration und Analyse von Netzwerkproblemen enthält. Der Aufbau des Kapitels orientiert sich an den Schichten im hybriden Referenzmodell und damit auch am Aufbau dieses Buches.

An dieser Stelle möchte ich Kristian Kraljic, Tobias Kurze, Michael Stapelberg, Torsten Wiens und ganz besonders Katrin Baun für das Korrekturlesen des neuen Kapitels danken.

Frankfurt am Main

*Prof. Dr. Christian Baun*  
Februar 2015

---

## Vorwort zur 2. Auflage

Aufgrund der positiven Rückmeldungen und Verbesserungsvorschläge haben ich nach nur knapp einem Jahr seit Erscheinen der 1. Auflage einige Teile des Buches überarbeitet und erweitert.

Neu hinzugekommen ist Abschnitt 3.10, der eine Beschreibung der Themen Bandbreite und Latenz und des damit verbundenen Bandbreite-Verzögerung-Produkts enthält.

Umfangreich erweitert wurde das Thema Rahmen bei WLAN in Abschnitt 6.4. Neu hinzugekommen ist ebenfalls Abschnitt 6.5, der die Maximum Transmission Unit (MTU) beschreibt.

Die sehr knappe Beschreibung der verschiedenen Routing-Protokolle ist einer detaillierteren Betrachtung der beiden Routing-Protokolle RIP und OSPF in den Abschnitten 7.4 und 7.5 gewichen. Neu hinzugekommen ist eine ausführliche Beschreibung des *Internetworking*, also der Kommunikation über verschiedene physische Netze in Abschnitt 7.6.

Die Beschreibung des Transportprotokolls TCP in Abschnitt 8.4 wurde unter anderem um die Themen Flusskontrolle und Überlastkontrolle erweitert.

Überarbeitet wurden auch die Abschnitte 9.1 und 9.2, in denen die Anwendungsprotokolle DNS und DHCP beschrieben sind.

Komplett neu hinzugekommen ist Kapitel 10, das eine Einführung in die Netzwerkvirtualisierung enthält.

Frankfurt am Main

*Prof. Dr. Christian Baum*  
September 2013

---

## **Vorwort zur 1. Auflage**

Computernetze sind ein dauerhaft aktuelles Thema der Informatik. Waren in der Vergangenheit die kabelgebundene Vernetzung von PCs und Workstations sowie das globale Internet dominierende Themen, sind es heute zunehmend mobile Systeme und Funknetze.

Dieses kompakte Werk über das breite Thema Computernetze wurde mit dem Ziel geschrieben, dem Leser einen Überblick über die wichtigsten Vernetzungstechnologien, Netzwerkgeräte, Protokolle und Übertragungsmedien zu verschaffen und so das Verständnis dafür zu wecken, wie Computernetze funktionieren.

Für das Korrekturlesen danke ich Maximilian Hoecker, Kristian Kraljic, Michael Stapelberg und Torsten Wiens.

An dieser Stelle möchte ich ganz besonders meiner Familie danken, die mich auch bei diesem Werk so viel unterstützt hat.

Mannheim

*Dr. Christian Baun*

Juli 2012

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Informationstechnik</b> .....	<b>3</b>
2.1	Bit .....	3
2.2	Repräsentation von Zahlen .....	4
2.2.1	Dezimalsystem .....	5
2.2.2	Dualsystem .....	5
2.2.3	Oktalsystem .....	6
2.2.4	Hexadezimalsystem .....	6
2.3	Datei- und Speichergrößen .....	8
2.4	Informationsdarstellung .....	9
2.4.1	ASCII-Kodierung .....	10
2.4.2	Unicode .....	12
2.4.3	Darstellung von Zeichenketten .....	13
<b>3</b>	<b>Grundlagen der Computervernetzung</b> .....	<b>15</b>
3.1	Entwicklung der Computernetze .....	15
3.2	Komponenten von Computernetzen .....	17
3.3	Räumliche Ausdehnung von Computernetzen .....	17
3.4	Datenübertragung .....	18
3.4.1	Serielle und parallele Übertragung .....	19
3.4.2	Synchrone und asynchrone Übertragung .....	19
3.4.3	Richtungsabhängigkeit der Übertragung .....	20
3.5	Geräte in Computernetzen .....	21

---

3.6	Topologien von Computernetzen . . . . .	23
3.6.1	Bus-Topologie . . . . .	23
3.6.2	Ring-Topologie . . . . .	25
3.6.3	Stern-Topologie . . . . .	25
3.6.4	Maschen-Topologie . . . . .	26
3.6.5	Baum-Topologie . . . . .	26
3.6.6	Zellen-Topologie . . . . .	27
3.7	Frequenz und Datensignal . . . . .	27
3.8	Fourierreihe und Bandbreite . . . . .	28
3.9	Bitrate und Baudrate . . . . .	28
3.10	Bandbreite und Latenz . . . . .	29
3.10.1	Bandbreite-Verzögerung-Produkt . . . . .	30
3.11	Zugriffsverfahren . . . . .	30
3.11.1	Deterministisches Zugriffsverfahren . . . . .	31
3.11.2	Nicht-deterministisches Zugriffsverfahren . . . . .	31
3.12	Kollisionsdomäne (Kollisionsgemeinschaft) . . . . .	32
<b>4</b>	<b>Protokolle und Protokollschichten . . . . .</b>	<b>33</b>
4.1	TCP/IP-Referenzmodell . . . . .	34
4.2	Hybrides Referenzmodell . . . . .	35
4.2.1	Bitübertragungsschicht . . . . .	35
4.2.2	Sicherungsschicht . . . . .	36
4.2.3	Vermittlungsschicht . . . . .	37
4.2.4	Transportschicht . . . . .	37
4.2.5	Anwendungsschicht . . . . .	38
4.3	Ablauf der Kommunikation . . . . .	39
4.4	OSI-Referenzmodell . . . . .	40
4.4.1	Sitzungsschicht . . . . .	40
4.4.2	Darstellungsschicht . . . . .	41
4.5	Fazit zu den Referenzmodellen . . . . .	41
<b>5</b>	<b>Bitübertragungsschicht . . . . .</b>	<b>43</b>
5.1	Vernetzungstechnologien . . . . .	43
5.1.1	Ethernet . . . . .	43
5.1.2	Token Ring . . . . .	45
5.1.3	Wireless Local Area Network (WLAN) . . . . .	46
5.1.4	Bluetooth . . . . .	55

---

5.2	Übertragungsmedien . . . . .	58
5.2.1	Koaxialkabel . . . . .	58
5.2.2	Twisted-Pair-Kabel . . . . .	60
5.2.3	Lichtwellenleiter . . . . .	64
5.3	Strukturierte Verkabelung . . . . .	65
5.4	Geräte der Bitübertragungsschicht . . . . .	66
5.4.1	Auswirkungen von Repeatern und Hubs auf die Kollisionsdomäne . . . . .	68
5.5	Kodierung von Daten in Netzwerken . . . . .	69
5.5.1	Non-Return to Zero (NRZ) . . . . .	71
5.5.2	Non-Return to Zero Invert (NRZI) . . . . .	72
5.5.3	Multilevel Transmission Encoding – 3 Levels (MLT-3) . . . . .	73
5.5.4	Return-to-Zero (RZ) . . . . .	73
5.5.5	Unipolares RZ . . . . .	74
5.5.6	Alternate Mark Inversion (AMI) . . . . .	75
5.5.7	Bipolar with 8 Zeros Substitution (B8ZS) . . . . .	75
5.5.8	Manchester . . . . .	76
5.5.9	Manchester II . . . . .	77
5.5.10	Differentielle Manchesterkodierung . . . . .	77
5.6	Nutzdaten mit Blockcodes verbessern . . . . .	78
5.6.1	4B5B . . . . .	79
5.6.2	5B6B . . . . .	79
5.6.3	8B10B-Kodierung . . . . .	81
5.7	Weitere Leitungscodes . . . . .	82
5.7.1	8B6T-Kodierung . . . . .	83
<b>6</b>	<b>Sicherungsschicht . . . . .</b>	<b>85</b>
6.1	Geräte der Sicherungsschicht . . . . .	85
6.1.1	Lernende Bridges . . . . .	87
6.1.2	Kreise auf der Sicherungsschicht . . . . .	88
6.1.3	Spanning Tree Protocol (STP) . . . . .	88
6.1.4	Auswirkungen von Bridges und Layer-2-Switches auf die Kollisionsdomäne . . . . .	92
6.2	Adressierung in der Sicherungsschicht . . . . .	92
6.2.1	Format der MAC-Adressen . . . . .	93

	6.2.2	Eindeutigkeit von MAC-Adressen . . . . .	93
	6.2.3	Sicherheit von MAC-Adressen . . . . .	94
6.3		Rahmen abgrenzen . . . . .	95
	6.3.1	Längenangabe im Header . . . . .	95
	6.3.2	Zeichenstopfen . . . . .	96
	6.3.3	Bitstopfen . . . . .	96
	6.3.4	Verstöße gegen Regeln des Leitungscodes . . . . .	97
6.4		Rahmenformate aktueller Computernetze . . . . .	98
	6.4.1	Rahmen bei Ethernet . . . . .	98
	6.4.2	Rahmen bei WLAN . . . . .	99
	6.4.3	Spezielle Rahmen bei WLAN . . . . .	102
6.5		Maximum Transmission Unit (MTU) . . . . .	103
6.6		Fehlererkennung . . . . .	104
	6.6.1	Zweidimensionale Parität . . . . .	104
	6.6.2	Zyklische Redundanzprüfung . . . . .	104
6.7		Medienzugriffsverfahren . . . . .	106
	6.7.1	Medienzugriffsverfahren bei Ethernet . . . . .	107
	6.7.2	Medienzugriffsverfahren bei WLAN . . . . .	110
6.8		Adressauflösung mit dem Address Resolution Protocol . . . . .	115
<b>7</b>		<b>Vermittlungsschicht . . . . .</b>	<b>117</b>
	7.1	Geräte der Vermittlungsschicht . . . . .	118
		7.1.1 Auswirkungen von Routern auf die Kollisionsdomäne . . . . .	118
		7.1.2 Broadcast-Domäne (Rundsendedomäne) . . . . .	118
	7.2	Adressierung in der Vermittlungsschicht . . . . .	119
		7.2.1 Aufbau von IP-Adressen . . . . .	121
		7.2.2 Subnetze . . . . .	122
		7.2.3 Private IP-Adressen . . . . .	125
		7.2.4 Aufbau von IP-Paketen . . . . .	125
		7.2.5 Fragmentieren von IP-Paketen . . . . .	128
	7.3	Weiterleitung und Wegbestimmung . . . . .	128
	7.4	Routing Information Protocol (RIP) . . . . .	130
		7.4.1 Count-to-Infinity . . . . .	130
		7.4.2 Split Horizon . . . . .	131
		7.4.3 Fazit zu RIP . . . . .	133

---

7.5	Open Shortest Path First (OSPF) . . . . .	136
7.5.1	Routing-Hierarchie mit OSPF . . . . .	136
7.5.2	Arbeitsweise von OSPF . . . . .	137
7.5.3	Aufbau von OSPF-Nachrichten . . . . .	139
7.5.4	Fazit zu OSPF . . . . .	141
7.6	Netzübergreifende Kommunikation . . . . .	142
7.7	Diagnose und Fehlermeldungen mit ICMP . . . . .	144
<b>8</b>	<b>Transportschicht</b> . . . . .	<b>147</b>
8.1	Eigenschaften von Transportprotokollen . . . . .	147
8.2	Adressierung in der Transportschicht . . . . .	148
8.3	User Datagram Protocol (UDP) . . . . .	149
8.3.1	Aufbau von UDP-Segmenten . . . . .	150
8.4	Transmission Control Protocol (TCP) . . . . .	151
8.4.1	Aufbau von TCP-Segmenten . . . . .	152
8.4.2	Arbeitsweise von TCP . . . . .	154
8.4.3	Flusskontrolle . . . . .	158
8.4.4	Überlastkontrolle . . . . .	161
<b>9</b>	<b>Anwendungsschicht</b> . . . . .	<b>169</b>
9.1	Domain Name System (DNS) . . . . .	169
9.1.1	Arbeitsweise des DNS . . . . .	170
9.1.2	Auflösung eines Domainnamens . . . . .	171
9.2	Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) . . . . .	172
9.2.1	Arbeitsweise von DHCP . . . . .	173
9.2.2	Aufbau von DHCP-Nachrichten . . . . .	175
9.2.3	DHCP-Relay . . . . .	176
9.3	Telecommunication Network (Telnet) . . . . .	177
9.4	Hypertext Transfer Protocol (HTTP) . . . . .	178
9.5	Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) . . . . .	181
9.6	Post Office Protocol Version 3 (POP3) . . . . .	182
9.7	File Transfer Protocol (FTP) . . . . .	182
<b>10</b>	<b>Netzwerkvirtualisierung</b> . . . . .	<b>185</b>
10.1	Virtual Private Networks (VPN) . . . . .	185
10.1.1	Technische Arten von VPNs . . . . .	186
10.2	Virtual Local Area Networks (VLAN) . . . . .	187

---

<b>11</b>	<b>Kommandozeilenwerkzeuge</b>	191
11.1	ethtool	194
11.2	mii-tool	194
11.3	iwconfig	195
11.4	iwlist	196
11.5	arp	196
11.6	ifconfig	197
11.7	ip	198
11.8	tcpdump	199
11.9	route	200
11.10	ping	200
11.11	traceroute	201
11.12	netstat	201
11.13	nmap	202
11.14	dhclient	203
11.15	dig	203
11.16	ftp	204
11.17	netperf	204
11.18	nslookup	205
11.19	ssh	205
11.20	telnet	205
<b>Glossar</b>		207
<b>Literatur</b>		213
<b>Sachverzeichnis</b>		215