

# Auf einen Blick

1	Netzwerke im Überblick .....	29
2	Ethernet-Grundlagen .....	75
3	Weiterführende Ethernet-Themen .....	107
4	Drahtlose LANs .....	137
5	Sonstige LAN-Technologien .....	195
6	Verbindungen .....	213
7	Pakete .....	229
8	Sliding Windows .....	251
9	IP Version 4 .....	277
10	IPv4-Begleitprotokolle .....	317
11	IPv6 .....	351
12	Weitere IPv6-Funktionen .....	381
13	Routing-Update-Algorithmen .....	405
14	IP-Routing im großen Maßstab .....	445
15	Border Gateway Protocol (BGP) .....	465
16	UDP-Übertragung .....	503
17	Grundlagen des TCP-Transports .....	545
18	TCP – Probleme und Alternativen .....	577
19	TCP Reno und Überlastmanagement .....	611
20	TCP-Dynamik .....	647
21	Weitere TCP-Dynamiken .....	675
22	Queuing und Scheduling .....	705
23	Token-Bucket .....	749
24	Quality of Service .....	773
25	Netzwerkverwaltung und SNMP .....	817
26	Die SNMP-Versionen 2 und 3 .....	863
27	Sicherheit .....	907
28	Verschlüsselung mit öffentlichem Schlüssel .....	963

# Inhalt

Materialien zum Buch .....	25
Geleitwort des Fachgutachters .....	27

## **1 Netzwerke im Überblick** 29

---

<b>1.1 Schichten</b> .....	29
<b>1.2 Datenrate, Durchsatz und Bandbreite</b> .....	30
<b>1.3 Pakete</b> .....	31
<b>1.4 Datagrammweiterleitung</b> .....	33
<b>1.5 Topologie</b> .....	37
1.5.1 Traffic-Engineering .....	37
<b>1.6 Routing-Schleifen</b> .....	38
<b>1.7 Überlast</b> .....	40
<b>1.8 Mehr über Pakete</b> .....	41
<b>1.9 LANs und Ethernet</b> .....	42
<b>1.10 IP – Internet Protocol</b> .....	45
1.10.1 IP-Weiterleitung .....	49
1.10.2 Die Zukunft von IPv4 .....	53
<b>1.11 DNS</b> .....	54
<b>1.12 Transport</b> .....	55
1.12.1 Muster der Traffic-Kommunikation .....	58
1.12.2 Content-Distribution Networks .....	60
<b>1.13 Firewalls</b> .....	61
<b>1.14 Einige nützliche Dienstprogramme</b> .....	63
<b>1.15 IETF und OSI</b> .....	65
<b>1.16 Berkeley Unix</b> .....	69
<b>1.17 Epilog</b> .....	70
<b>1.18 Übungen</b> .....	70

## 2 Ethernet-Grundlagen 75

---

<b>2.1</b>	<b>Klassisches 10-Mbit/s-Ethernet</b> .....	76
2.1.1	Ethernet-Paketformat .....	79
2.1.2	Ethernet Multicast .....	80
2.1.3	Interne Struktur von Ethernet-Adressen .....	81
2.1.4	Die LAN-Schicht .....	82
2.1.5	Slot-Zeit und Kollisionen .....	83
2.1.6	Exponentieller Backoff-Algorithmus .....	86
2.1.7	Capture-Effekt .....	88
2.1.8	Hubs und Topologie .....	89
2.1.9	Fehler .....	89
2.1.10	CSMA-Persistenz .....	89
2.1.11	Analyse des klassischen Ethernets .....	90
<b>2.2</b>	<b>100 Mbit/s (Fast) Ethernet</b> .....	93
<b>2.3</b>	<b>Gigabit-Ethernet</b> .....	95
<b>2.4</b>	<b>Ethernet-Switches</b> .....	96
2.4.1	Kosten für Switches .....	98
2.4.2	Ethernet-Lernalgorithmus .....	98
<b>2.5</b>	<b>Epilog</b> .....	101
<b>2.6</b>	<b>Übungen</b> .....	102

## 3 Weiterführende Ethernet-Themen 107

---

<b>3.1</b>	<b>Spanning-Tree-Algorithmus und Redundanz</b> .....	108
3.1.1	Beispiel 1: Nur Switches .....	110
3.1.2	Beispiel 2: Switches und Segmente .....	111
<b>3.2</b>	<b>Virtuelles LAN (VLAN)</b> .....	114
3.2.1	Switch-Hardware .....	116
<b>3.3</b>	<b>TRILL und SPB</b> .....	119
<b>3.4</b>	<b>Software-Defined Networking</b> .....	122
3.4.1	OpenFlow-Switches .....	123
3.4.2	Selbstlernende Switches in OpenFlow .....	125
3.4.3	Weitere OpenFlow-Beispiele .....	127
<b>3.5</b>	<b>Epilog</b> .....	132
<b>3.6</b>	<b>Übungen</b> .....	132

## 4 Drahtlose LANs 137

---

<b>4.1 Abenteuer im Funkland</b> .....	137
4.1.1 Datenschutz .....	137
4.1.2 Kollisionen .....	138
4.1.3 Versteckte Teilnehmer (Hidden Nodes) .....	138
4.1.4 Bandbreite .....	139
4.1.5 Kosten .....	140
4.1.6 Mehrweginterferenz .....	141
4.1.7 Energieverbrauch .....	143
4.1.8 Kabelsalat .....	143
<b>4.2 Wi-Fi</b> .....	143
4.2.1 Wi-Fi und Kollisionen .....	147
4.2.2 Dynamische Geschwindigkeitsanpassung .....	152
4.2.3 Mehrere Spatial Streams .....	153
4.2.4 Zugangspunkte .....	156
4.2.5 Wi-Fi-Sicherheit .....	166
4.2.6 Wi-Fi Monitoring .....	176
4.2.7 Wi-Fi-Polling-Modus .....	177
4.2.8 MANETs .....	179
<b>4.3 WiMAX und LTE</b> .....	182
4.3.1 Uplink-Scheduling .....	184
4.3.2 Ranging .....	186
4.3.3 Network Entry .....	186
4.3.4 Mobility .....	187
<b>4.4 Ortsfeste Drahtlosnetzwerke</b> .....	188
4.4.1 Terrestrische Funknetzwerke .....	188
4.4.2 Satelliteninternet .....	189
<b>4.5 Epilog</b> .....	190
<b>4.6 Übungen</b> .....	191

## 5 Sonstige LAN-Technologien 195

---

<b>5.1 Virtuelle private Netzwerke</b> .....	195
<b>5.2 Carrier-Ethernet</b> .....	197
<b>5.3 Token Ring</b> .....	198
<b>5.4 Virtuelle Verbindungen</b> .....	200

<b>5.5</b>	<b>Asynchronous Transfer Mode: ATM</b> .....	204
5.5.1	ATM-Segmentierung und -Reassemblierung .....	206
<b>5.6</b>	<b>Epilog</b> .....	208
<b>5.7</b>	<b>Übungen</b> .....	208

## **6 Verbindungen** 213

---

<b>6.1</b>	<b>Kodierung und Frames</b> .....	213
6.1.1	NRZ .....	214
6.1.2	NRZI .....	214
6.1.3	Manchester .....	215
6.1.4	4B/5B .....	215
6.1.5	Framing .....	217
<b>6.2</b>	<b>Zeitmultiplexverfahren</b> .....	220
6.2.1	T-Carrier-Leitungen .....	221
6.2.2	SONET .....	222
6.2.3	Optical Transport Network .....	225
6.2.4	Andere faseroptische Übertragungsarten .....	226
<b>6.3</b>	<b>Epilog</b> .....	227
<b>6.4</b>	<b>Übungen</b> .....	227

## **7 Pakete** 229

---

<b>7.1</b>	<b>Paketverzögerung</b> .....	229
7.1.1	Beispiele für Verzögerungen .....	230
7.1.2	Bandbreite × Verzögerung .....	233
<b>7.2</b>	<b>Schwankungen der Paketverzögerung</b> .....	233
<b>7.3</b>	<b>Paketgröße</b> .....	234
7.3.1	Fehlerhäufigkeit und Paketgröße .....	236
7.3.2	Paketgröße und Echtzeit-Traffic .....	237
<b>7.4</b>	<b>Fehlererkennung</b> .....	237
7.4.1	Zyklische Redundanzprüfung: CRC .....	241
7.4.2	Fehlerkorrigierende Codes .....	243
<b>7.5</b>	<b>Epilog</b> .....	245
<b>7.6</b>	<b>Übungen</b> .....	245

## 8 Sliding Windows 251

---

<b>8.1</b>	<b>Zuverlässige Datenübertragung: Stop-and-Wait</b> .....	251
8.1.1	Paketverlust .....	252
8.1.2	Sorcerer's Apprentice Bug .....	254
8.1.3	Datenflusststeuerung .....	255
<b>8.2</b>	<b>Die Sliding-Windows-Strategie</b> .....	256
8.2.1	Bandbreite × Verzögerung .....	258
8.2.2	Die Empfängerseite .....	259
8.2.3	Verlustwiederherstellung unter Sliding Windows .....	260
<b>8.3</b>	<b>Lineare Flaschenhäse</b> .....	261
8.3.1	Einfache Analyse für feste Fenstergröße .....	262
8.3.2	RTT-Berechnungen .....	266
8.3.3	Grafiken an der Überlastungsgrenze .....	268
8.3.4	Einfache paketbasierte Sliding-Windows-Implementierung .....	269
<b>8.4</b>	<b>Epilog</b> .....	271
<b>8.5</b>	<b>Übungen</b> .....	271

## 9 IP Version 4 277

---

<b>9.1</b>	<b>Der IPv4-Header</b> .....	279
<b>9.2</b>	<b>Schnittstellen</b> .....	282
9.2.1	Multihomed Hosts .....	283
<b>9.3</b>	<b>Spezielle Adressen</b> .....	284
9.3.1	Multicast-Adressen .....	286
<b>9.4</b>	<b>Fragmentierung</b> .....	287
<b>9.5</b>	<b>Der klassenlose IP-Delivery-Algorithmus</b> .....	290
9.5.1	Effizientes Lookup in der Weiterleitungstabelle .....	292
<b>9.6</b>	<b>IPv4-Subnetze</b> .....	294
9.6.1	Subnetz-Beispiel .....	298
9.6.2	Verbindungen zwischen Subnetzen .....	299
9.6.3	Subnetze versus Switching .....	301
<b>9.7</b>	<b>Netzwerkadressübersetzung</b> .....	302
9.7.1	Probleme mit NAT .....	305
9.7.2	Middleboxen .....	307
9.7.3	NAT-Traversal .....	308

<b>9.8</b>	<b>Unnummerierte Schnittstellen</b> .....	309
<b>9.9</b>	<b>Mobile IP</b> .....	311
	9.9.1 IP-in-IP-Kapselung .....	312
<b>9.10</b>	<b>Epilog</b> .....	313
<b>9.11</b>	<b>Übungen</b> .....	313

## **10 IPv4-Begleitprotokolle** 317

---

<b>10.1</b>	<b>DNS</b> .....	317
	10.1.1 DNS-Resolver .....	320
	10.1.2 nslookup und dig .....	326
	10.1.3 Andere DNS-Einträge .....	332
	10.1.4 DNS Cache Poisoning .....	334
	10.1.5 DNS und CDNs .....	335
<b>10.2</b>	<b>Address Resolution Protocol: ARP</b> .....	336
	10.2.1 ARP-Feinheiten .....	337
	10.2.2 ARP-Sicherheit .....	339
	10.2.3 ARP-Failover .....	340
	10.2.4 Erkennung von Sniffen .....	340
	10.2.5 ARP und Hosts mit mehreren Adressen .....	341
<b>10.3</b>	<b>Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)</b> .....	341
	10.3.1 NAT, DHCP und das kleine Büro .....	342
	10.3.2 DHCP und Router .....	343
<b>10.4</b>	<b>Internet Control Message Protocol</b> .....	343
	10.4.1 Traceroute und Time Exceeded .....	347
	10.4.2 Redirects .....	348
	10.4.3 Router Solicitation .....	348
<b>10.5</b>	<b>Epilog</b> .....	349
<b>10.6</b>	<b>Übungen</b> .....	349

## **11 IPv6** 351

---

<b>11.1</b>	<b>Der IPv6-Header</b> .....	352
<b>11.2</b>	<b>IPv6-Adressen</b> .....	353
	11.2.1 Schnittstellenbezeichner .....	354

11.2.2	Link-local-Adressen .....	356
11.2.3	Anycast-Adressen .....	357
<b>11.3</b>	<b>Netzwerkpräfixe .....</b>	<b>358</b>
<b>11.4</b>	<b>IPv6-Multicast .....</b>	<b>359</b>
<b>11.5</b>	<b>IPv6-Erweiterungsheader .....</b>	<b>360</b>
11.5.1	Hop-by-Hop-Options-Header .....	361
11.5.2	Destination-Options-Header .....	361
11.5.3	Routing-Header .....	362
11.5.4	IPv6-Fragment-Header .....	362
11.5.5	Häufige Probleme mit dem Erweiterungs-Header .....	363
<b>11.6</b>	<b>Nachbarschaftserkennung (Neighbor Discovery) .....</b>	<b>364</b>
11.6.1	Router-Ermittlung (Router Discovery) .....	364
11.6.2	Präfix-Ermittlung (Prefix discovery) .....	365
11.6.3	Nachbarschaftsanfragen (Neighbor Solicitation) .....	367
11.6.4	Sicherheit und Nachbarschaftserkennung .....	368
<b>11.7</b>	<b>Zuweisung von IPv6-Hostadressen .....</b>	<b>371</b>
11.7.1	Erkennung doppelter Adressen .....	372
11.7.2	Zustandslose Autokonfiguration (Stateless Autoconfiguration, SLAAC) .....	373
11.7.3	DHCPv6 .....	376
<b>11.8</b>	<b>Epilog .....</b>	<b>378</b>
<b>11.9</b>	<b>Übungen .....</b>	<b>378</b>
<b>12</b>	<b>Weitere IPv6-Funktionen .....</b>	<b>381</b>
<hr/>		
<b>12.1</b>	<b>Weltweit sichtbare Adressen .....</b>	<b>381</b>
<b>12.2</b>	<b>ICMPv6 .....</b>	<b>382</b>
12.2.1	Node Information Messages .....	383
<b>12.3</b>	<b>IPv6-Subnetze .....</b>	<b>384</b>
12.3.1	Subnetze und /64 .....	385
<b>12.4</b>	<b>IPv6 und IPv4 gemeinsam benutzen .....</b>	<b>386</b>
<b>12.5</b>	<b>IPv6-Beispiele ohne Router .....</b>	<b>392</b>
12.5.1	ping6 .....	392
12.5.2	TCP-Verbindungen mit Link-Local-Adressen .....	393
12.5.3	Manuelle Adresskonfiguration .....	393



<b>12.6 IPv6-Konnektivität über Tunneling</b> .....	395
12.6.1 IPv6-Firewalls .....	397
12.6.2 Einen Router einrichten .....	397
<b>12.7 Konnektivität von IPv6 nach IPv4</b> .....	400
<b>12.8 Epilog</b> .....	402
<b>12.9 Übungen</b> .....	402

## **13 Routing-Update-Algorithmen** 405

---

<b>13.1 Distanzvektor-Routing-Update-Algorithmus</b> .....	406
13.1.1 Distanzvektor-Update-Regeln .....	407
<b>13.2 Langsames Konvergenzproblem bei Distanzvektoren</b> .....	413
13.2.1 Korrekturen für langsame Konvergenz .....	413
<b>13.3 Minimierung der Streckenkosten</b> .....	415
<b>13.4 Schleifenfreie Distanzvektor-Algorithmen</b> .....	418
13.4.1 DSDV .....	418
13.4.2 AODV .....	420
13.4.3 HWMP .....	424
13.4.4 EIGRP .....	425
<b>13.5 Link-State-Routing-Update-Algorithmus</b> .....	427
13.5.1 Shortest-Path-First-Algorithmus .....	429
<b>13.6 Routing nach anderen Attributen</b> .....	432
<b>13.7 ECMP</b> .....	434
<b>13.8 Epilog</b> .....	435
<b>13.9 Übungen</b> .....	436

## **14 IP-Routing im großen Maßstab** 445

---

<b>14.1 Classless Internet Domain Routing: CIDR</b> .....	446
<b>14.2 Hierarchisches Routing</b> .....	449
<b>14.3 Routing in früherer Zeit</b> .....	450
<b>14.4 Providerbasiertes Routing</b> .....	451
14.4.1 Internet Exchange Points .....	453

14.4.2	CIDR (und wie man nicht ins Gefängnis kommt) .....	454
14.4.3	Hierarchisches Routing über Provider .....	455
14.4.4	IP-Geolokalisierung .....	457
<b>14.5</b>	<b>Geografisches Routing</b> .....	458
<b>14.6</b>	<b>Epilog</b> .....	459
<b>14.7</b>	<b>Übungen</b> .....	459

## **15 Border Gateway Protocol (BGP)** 465

---

<b>15.1</b>	<b>AS-Pfade</b> .....	467
<b>15.2</b>	<b>AS-Pfade und Routenaggregation</b> .....	469
<b>15.3</b>	<b>Transit-Traffic</b> .....	471
<b>15.4</b>	<b>BGP-Filterung und Routing-Policies</b> .....	471
<b>15.5</b>	<b>BGP-Tabellengröße</b> .....	474
<b>15.6</b>	<b>BGP-Pfadattribute</b> .....	475
15.6.1	NEXT_HOP .....	476
15.6.2	LOCAL_PREF .....	476
15.6.3	MULTI_EXIT_DISC .....	476
15.6.4	COMMUNITY .....	479
<b>15.7</b>	<b>BGP und Traffic-Engineering</b> .....	480
15.7.1	MED-Werte und Traffic-Engineering .....	483
<b>15.8</b>	<b>BGP und Anycast</b> .....	484
<b>15.9</b>	<b>BGP für internes Routing</b> .....	485
<b>15.10</b>	<b>BGP-Beziehungen</b> .....	486
15.10.1	BGP-No-Valley-Theorem .....	491
<b>15.11</b>	<b>Beispiele für BGP-Instabilität</b> .....	492
<b>15.12</b>	<b>BGP-Sicherheit und Route Registries</b> .....	494
15.12.1	IRR-Abfragen .....	496
15.12.2	RPKI .....	498
<b>15.13</b>	<b>Epilog</b> .....	500
<b>15.14</b>	<b>Übungen</b> .....	500

## 16 UDP-Übertragung 503

---

<b>16.1</b>	<b>User Datagram Protocol – UDP</b> .....	503
16.1.1	QUIC .....	505
16.1.2	DCCP .....	506
16.1.3	Simplex-Talk über UDP .....	507
16.1.4	netcat .....	517
16.1.5	Binärdaten .....	517
<b>16.2</b>	<b>Trivial File Transport Protocol, TFTP</b> .....	520
<b>16.3</b>	<b>Grundlegende Übertragungsprobleme</b> .....	523
16.3.1	Alte, doppelte Pakete .....	524
16.3.2	Verlorenes abschließendes ACK .....	526
16.3.3	Doppelte Verbindungsanforderung .....	529
16.3.4	Reboots .....	530
<b>16.4</b>	<b>Weitere Anmerkungen zu TFTP</b> .....	531
16.4.1	TFTP und der Zauberlehrling .....	531
16.4.2	TFTP-Zustände .....	531
16.4.3	Durchsatz bei TFTP .....	533
<b>16.5</b>	<b>Remote Procedure Call (RPC)</b> .....	534
16.5.1	Network File System .....	536
16.5.2	Sun RPC .....	536
16.5.3	Serielle Ausführung .....	538
16.5.4	Verfeinerungen von RPC .....	538
<b>16.6</b>	<b>Epilog</b> .....	539
<b>16.7</b>	<b>Übungen</b> .....	539

## 17 Grundlagen des TCP-Transports 545

---

<b>17.1</b>	<b>Das Ende-zu-Ende-Prinzip</b> .....	547
<b>17.2</b>	<b>TCP-Header</b> .....	547
<b>17.3</b>	<b>Aufbau einer TCP-Verbindung</b> .....	549
<b>17.4</b>	<b>TCP und WireShark</b> .....	555
<b>17.5</b>	<b>TCP-Offloading</b> .....	557
<b>17.6</b>	<b>TCP-Simplex-Talk</b> .....	558
17.6.1	Der TCP-Server .....	558
17.6.2	Der TCP-Client .....	561

<b>17.7 TCP und bind()</b> .....	563
17.7.1 Noch einmal netcat .....	564
<b>17.8 TCP-Zustandsdiagramm</b> .....	565
17.8.1 Eine Verbindung beenden .....	567
17.8.2 Close() aufrufen .....	569
<b>17.9 Epilog</b> .....	572
<b>17.10 Übungen</b> .....	572

## **18 TCP – Probleme und Alternativen** 577

---

<b>18.1 Alte Duplikate bei TCP</b> .....	577
<b>18.2 TIMEWAIT</b> .....	578
<b>18.3 Der dreifache Handshake – erneut betrachtet</b> .....	580
<b>18.4 Anomale TCP-Szenarien</b> .....	583
<b>18.5 Schnelleres Öffnen von TCP-Verbindungen</b> .....	584
<b>18.6 Path MTU Discovery</b> .....	587
<b>18.7 Sliding Windows bei TCP</b> .....	587
<b>18.8 Verzögerte ACKs bei TCP</b> .....	588
<b>18.9 Nagle-Algorithmus</b> .....	589
<b>18.10 Flusssteuerung bei TCP</b> .....	590
<b>18.11 Silly-Window-Syndrom</b> .....	591
<b>18.12 Zeitüberschreitung und Neuübertragung bei TCP</b> .....	592
<b>18.13 KeepAlive</b> .....	594
<b>18.14 TCP-Timer</b> .....	594
<b>18.15 Varianten und Alternativen</b> .....	595
18.15.1 MPTCP .....	595
18.15.2 SCTP .....	597
18.15.3 DCCP .....	599
18.15.4 Ein neuerlicher Blick auf QUIC .....	600
<b>18.16 Epilog</b> .....	608
<b>18.17 Übungen</b> .....	608

## 19 TCP Reno und Überlastmanagement 611

---

<b>19.1 Grundlagen des TCP-Überlastmanagements</b> .....	612
19.1.1 Der einigermaßen stationäre Zustand .....	615
<b>19.2 Slow Start</b> .....	618
19.2.1 Per-ACK-Antworten .....	620
19.2.2 Slow Start Threshold .....	620
19.2.3 Beispiel: Slow Start bei mehreren Paketen .....	622
19.2.4 Zusammenfassung des bisher Gelernten .....	623
19.2.5 Der Anfangswert von cwnd .....	624
<b>19.3 TCP Tahoe und Fast-Retransmit</b> .....	624
<b>19.4 TCP Reno und Fast-Recovery</b> .....	626
<b>19.5 TCP NewReno</b> .....	630
<b>19.6 Selektive Bestätigungen (SACK)</b> .....	632
<b>19.7 TCP und Auslastung der Flaschenhalsverbindung</b> .....	633
19.7.1 TCP-Warteschlangengrößen .....	636
<b>19.8 Verluste einzelner Pakete</b> .....	638
<b>19.9 Annahmen zu TCP und Skalierbarkeit</b> .....	639
<b>19.10 TCP-Parameter</b> .....	640
<b>19.11 Epilog</b> .....	641
<b>19.12 Übungen</b> .....	641

## 20 TCP-Dynamik 647

---

<b>20.1 Ein erster Blick auf das Queuing</b> .....	647
20.1.1 Priority Queuing .....	648
<b>20.2 Flaschenhalsverbindungen mit konkurrierendem Datenverkehr</b> .....	649
20.2.1 Beispiel 1: Linearer Flaschenhals .....	649
20.2.2 Beispiel 2: Router-Wettbewerb .....	649
20.2.3 Beispiel 3: Wettbewerb und Warteschlangenauslastung .....	651
20.2.4 Beispiel 4: Querverkehr und RTT-Schwankungen .....	655
20.2.5 Beispiel 5: Veränderliche Flaschenhalse .....	657
20.2.6 Paketpaare .....	658
<b>20.3 TCP Reno – Fairness mit synchronisierten Verlusten</b> .....	659
20.3.1 Beispiel 2: Schnellerer additiver Zuwachs .....	662

20.3.2	Beispiel 3: Längere RTT .....	663
20.3.3	Beeinflussung der RTT bei TCP Reno .....	665
20.3.4	Hypothese der synchronen Verluste .....	666
20.3.5	Verlust-Synchronisierung .....	667
20.3.6	Extreme RTT-Unterschiede .....	668
<b>20.4</b>	<b>Epilog</b> .....	669
<b>20.5</b>	<b>Übungen</b> .....	669

## **21 Weitere TCP-Dynamiken** 675

---

<b>21.1</b>	<b>Begriffe der Fairness</b> .....	675
21.1.1	Max-Min-Fairness .....	675
21.1.2	Proportionale Fairness .....	677
<b>21.2</b>	<b>TCP-Reno-Verlustrate und cwnd</b> .....	677
21.2.1	Ungleichmäßige Sägezähne .....	679
21.2.2	Nicht synchronisierte TCP-Verlustereignisse .....	679
<b>21.3</b>	<b>TCP-Freundlichkeit</b> .....	680
21.3.1	TFRC .....	681
21.3.2	RTP .....	682
21.3.3	DCCP-Überlaststeuerung .....	683
<b>21.4</b>	<b>Noch einmal AIMD</b> .....	684
21.4.1	AIMD und Konvergenz zur Fairness .....	686
<b>21.5</b>	<b>Aktives Warteschlangenmanagement</b> .....	686
21.5.1	Bufferbloat .....	687
21.5.2	DECbit .....	688
21.5.3	Explicit Congestion Notification (ECN) .....	689
21.5.4	RED .....	691
21.5.5	ADT .....	692
21.5.6	CoDel .....	693
<b>21.6</b>	<b>Das TCP-Problem der hohen Bandbreiten</b> .....	694
<b>21.7</b>	<b>Das Problem der verlustbehafteten Verbindungen</b> .....	696
<b>21.8</b>	<b>Das Problem der Satelliten-TCP-Verbindungen</b> .....	697
<b>21.9</b>	<b>Epilog</b> .....	697
<b>21.10</b>	<b>Übungen</b> .....	698

<b>22</b>	<b>Queuing und Scheduling</b>	705
<hr/>		
22.1	Queuing und Echtzeitdatenverkehr	706
22.2	Traffic-Management	707
22.3	Priority Queuing	708
22.4	Warteschlangenverfahren	708
22.5	Fair Queuing	710
22.5.1	Weighted Fair Queuing	711
22.5.2	Virtuelle Fertigstellungszeiten	712
22.5.3	Bitweises Round-Robin-Verfahren	716
22.5.4	Das GPS-Modell	719
22.5.5	Deficit Round Robin	728
22.5.6	Stochastisches Fair Queuing	729
22.6	Anwendungen von Fair Queuing	730
22.6.1	Fair Queuing und Bufferbloat	731
22.7	Hierarchisches Queuing	733
22.7.1	Generisches hierarchisches Queuing	734
22.7.2	Hierarchische Beispiele	735
22.8	Hierarchical Weighted Fair Queuing	737
22.8.1	Algorithmus für Hierarchical Weighted Fair Queuing	740
22.9	Epilog	744
22.10	Übungen	745
<b>23</b>	<b>Token-Bucket</b>	749
<hr/>		
23.1	Token-Bucket – Definition	750
23.2	Token-Bucket – Beispiele	753
23.3	Mehrere Token-Buckets	754
23.4	GCRA	755
23.4.1	Anwendungen von Token-Bucket	756
23.5	Gewährleistung der VoIP-Bandbreite	757
23.6	Verzögerung begrenzen	758
23.6.1	Auslastung der Token-Bucket-Warteschlange	759
23.7	Token-Bucket durch einen Router	760

<b>23.8</b>	<b>Token-Bucket durch mehrere Router</b> .....	761
<b>23.9</b>	<b>Verzögerungsbedingungen</b> .....	762
23.9.1	Hierarchischer Token-Bucket .....	762
23.9.2	Kombinationen aus Fair Queuing und Token-Bucket .....	764
<b>23.10</b>	<b>CBQ</b> .....	765
<b>23.11</b>	<b>Linux HTB</b> .....	765
<b>23.12</b>	<b>Parekh-Gallager Theorem</b> .....	767
<b>23.13</b>	<b>Epilog</b> .....	768
<b>23.14</b>	<b>Übungen</b> .....	768

## **24 Quality of Service** 773

---

<b>24.1</b>	<b>Netzneutralität</b> .....	775
<b>24.2</b>	<b>Wo die wilden Warteschlangen wohnen</b> .....	775
<b>24.3</b>	<b>Echtzeit-Datenverkehr</b> .....	776
24.3.1	Wiedergabepuffer .....	777
24.3.2	Videostreaming .....	779
24.3.3	UDP und Echtzeitdatenverkehr .....	780
<b>24.4</b>	<b>Integrated Services/RSVP</b> .....	780
<b>24.5</b>	<b>Globales IP-Multicast</b> .....	781
<b>24.6</b>	<b>RSVP</b> .....	788
24.6.1	Eine CDN-basierte Alternative zu IntServ .....	791
<b>24.7</b>	<b>Differentiated Services</b> .....	794
24.7.1	Expedited Forwarding .....	796
24.7.2	Assured Forwarding .....	799
<b>24.8</b>	<b>RED with In and Out</b> .....	801
<b>24.9</b>	<b>NSIS</b> .....	801
<b>24.10</b>	<b>Comcast-System zu Überlaststeuerung</b> .....	802
<b>24.11</b>	<b>Real-time Transport Protocol (RTP)</b> .....	804
24.11.1	RTP-Mixer .....	805
24.11.2	RTP-Paketformat .....	806
24.11.3	RTP Control Protocol .....	808
24.11.4	RTP und VoIP .....	809



<b>24.12 Multi-Protocol Label Switching (MPLS)</b> .....	810
<b>24.13 Epilog</b> .....	814
<b>24.14 Übungen</b> .....	814

## **25 Netzwerkverwaltung und SNMP** 817

---

<b>25.1 Netzwerkarchitektur</b> .....	820
<b>25.2 SNMP-Grundlagen</b> .....	820
25.2.1 SNMP-Versionen .....	822
<b>25.3 Namen und OIDs unter SNMP</b> .....	823
<b>25.4 MIBs</b> .....	825
<b>25.5 SNMPv1-Datentypen</b> .....	827
<b>25.6 ASN.1-Syntax und SNMP</b> .....	828
<b>25.7 SNMP-Tabellen</b> .....	829
<b>25.8 SNMP-Operationen</b> .....	835
25.8.1 Get() mit mehreren Attributen .....	839
25.8.2 Set() .....	840
<b>25.9 MIB-Browsing</b> .....	841
<b>25.10 MIB-2</b> .....	842
25.10.1 Die system-Gruppe .....	843
25.10.2 Tabellendefinitionen und die interfaces-Gruppe .....	844
25.10.3 Die ip-Gruppe .....	850
25.10.4 Die icmp-Gruppe .....	852
25.10.5 Die tcp-Gruppe .....	852
25.10.6 Die udp-Gruppe .....	853
25.10.7 Die snmp-Gruppe .....	853
<b>25.11 SNMPv1-Communities und -Sicherheit</b> .....	853
<b>25.12 SNMP und die ASN.1-Kodierung</b> .....	855
25.12.1 Primitive Typen .....	856
25.12.2 Zusammengesetzte Typen .....	858
<b>25.13 Übungen</b> .....	859

## 26 Die SNMP-Versionen 2 und 3 863

---

<b>26.1</b>	<b>SNMPv2</b> .....	863
26.1.1	SMI und Datentypen von SNMPv2 .....	863
26.1.2	SNMPv2-Get-Semantik .....	864
26.1.3	SNMPv2-GetBulk() .....	864
26.1.4	SNMPv2-Indizes .....	866
26.1.5	TestAndIncr .....	867
26.1.6	Table Augmentation .....	868
26.1.7	MIB-Veränderungen in SNMPv2 .....	870
26.1.8	sysORTable .....	870
26.1.9	IF-MIB und ifXTable .....	871
26.1.10	ETHERLIKE-MIB .....	872
26.1.11	BRIDGE-MIB .....	873
26.1.12	IP-MIB und IP-Forward-MIB .....	874
26.1.13	TCP-MIB .....	878
<b>26.2</b>	<b>Erstellung von Tabellenzeilen</b> .....	879
26.2.1	RMON .....	880
26.2.2	SNMPv2 RowStatus .....	888
26.2.3	PING-MIB .....	889
<b>26.3</b>	<b>SNMPv3</b> .....	890
26.3.1	What Could Possibly Go Wrong? .....	891
26.3.2	Kryptografische Grundlagen .....	892
26.3.3	SNMPv3-Engines .....	893
26.3.4	Authentifizierung von Nachrichten .....	894
26.3.5	Passwörter und Schlüssel .....	895
26.3.6	Signieren von Nachrichten .....	896
26.3.7	Veränderung des Schlüssels .....	896
26.3.8	Zusätzliche Nutzer anlegen .....	897
26.3.9	VACM für SNMPv3 .....	898
<b>26.4</b>	<b>Übungen</b> .....	905

## 27 Sicherheit 907

---

<b>27.1</b>	<b>Einbruch mit Ausführung von Code</b> .....	909
27.1.1	Der Morris-Wurm .....	910
27.1.2	Christmas-Day-Attacke .....	910

<b>27.2 Stapelüberlauf</b> .....	911
27.2.1 Return to libc .....	912
27.2.2 Ein konkretes Beispiel für einen Stapelüberlauf .....	913
27.2.3 Schutzmaßnahmen gegen Pufferüberläufe .....	920
<b>27.3 Heap-Überlauf</b> .....	923
27.3.1 Eine Heap-Sicherheitslücke unter Linux .....	924
27.3.2 Eine Heap-Sicherheitslücke in Zusammenhang mit JPEG .....	926
27.3.3 Cross-Site-Scripting (XSS) .....	928
27.3.4 SQL-Injektion .....	929
<b>27.4 Network Intrusion Detection</b> .....	930
<b>27.5 Ziele der Kryptografie</b> .....	932
<b>27.6 Sichere Hashes</b> .....	934
27.6.1 Sichere Hashes und Authentifizierung .....	936
27.6.2 Passwort-Hashes .....	938
27.6.3 CHAP .....	939
27.6.4 SCRAM .....	939
<b>27.7 Verschlüsselung mit gemeinsamem Schlüssel</b> .....	940
27.7.1 Sitzungsschlüssel .....	941
27.7.2 Blockverschlüsselung .....	942
27.7.3 Verschlüsselungsmodi .....	945
27.7.4 Stromverschlüsselung .....	946
27.7.5 Auf Blockverschlüsselung basierende Stromverschlüsselungs- verfahren .....	948
27.7.6 Verschlüsselung und Authentifizierung .....	949
27.7.7 Versagen der WEP-Verschlüsselung für Wi-Fi .....	950
<b>27.8 Diffie-Hellman-Merkle-Schlüsselaustausch</b> .....	954
27.8.1 Schnelle Arithmetik .....	956
27.8.2 Simultaneous Authentication of Equals .....	956
<b>27.9 Übungen</b> .....	959

---

## **28 Verschlüsselung mit öffentlichem Schlüssel** 963

<b>28.1 RSA</b> .....	963
28.1.1 RSA und digitale Signaturen .....	965
28.1.2 RSA-Schlüssel faktorisieren .....	966
<b>28.2 Vorwärts gerichtete Geheimhaltung</b> .....	967
<b>28.3 Vertrauen und der Mann in der Mitte</b> .....	969

<b>28.4</b>	<b>Ende-zu-Ende-Verschlüsselung</b> .....	970
<b>28.5</b>	<b>SSH und TLS</b> .....	971
28.5.1	SSH .....	972
28.5.2	TLS .....	976
28.5.3	Ein TLS-Programmierbeispiel .....	990
<b>28.6</b>	<b>IPsec</b> .....	998
28.6.1	Sicherheitsverbindungen (Security Associations) .....	1000
<b>28.7</b>	<b>DNSSEC</b> .....	1002
28.7.1	DNSSEC verwenden .....	1009
28.7.2	DNS-based Authentication of Named Entities .....	1011
28.7.3	Warum ist DNSSEC nicht weiter verbreitet? .....	1013
28.7.4	DNS over HTTPS .....	1015
<b>28.8</b>	<b>Beispiele mit RSA-Schlüssel</b> .....	1016
<b>28.9</b>	<b>Übungen</b> .....	1020
	Bibliografie .....	1023
	Index .....	1033