

# IPv6

Grundlagen • Funktionalität • Integration

Silvia Hagen



Sunny Edition  
CH-8124 Maur  
[www.sunny.ch](http://www.sunny.ch)

## **IPv6**

### **Grundlagen – Funktionalität – Integration**

Silvia Hagen

3. Auflage

© 2016 by Sunny Edition

Sunny Connection AG

Staubergasse 21

CH-8124 Maur, Schweiz

[www.sunny.ch](http://www.sunny.ch)

Verlag: Sunny Edition

Druck: Books on Demand GmbH, Norderstedt

3. Auflage, Juni 2016

Print ISBN 978-3-9522942-3-9

eBook ISBN 978-3-9522942-8-4

Produktion: Silvia Hagen

Covergestaltung: Cristina D'Ignazio, Diem und Partner AG, Adliswil

Satz/Layout: tnt-graphics AG, Bassersdorf

Grafiken: Simeon Ott

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

Teile dieses Buches wurden mit freundlicher Genehmigung von O'Reilly Media Inc. aus «IPv6 Essentials» aus dem Englischen übersetzt.

Das vorliegende Buch ist urheberrechtlich geschützt.

Die Verwendung von Text und Abbildungen ist ohne schriftliche Genehmigung des Verlages strafbar.

Die Informationen in diesem Buch wurden mit grösster Sorgfalt recherchiert und verifiziert. Die Autorin und der Verlag können jedoch nicht für Schäden haftbar gemacht werden, die im Zusammenhang mit der Verwendung dieser Informationen stehen.

Das Buch erwähnt eingetragene Warenzeichen, Firmen- und Produktnamen. Für diese gelten die entsprechenden Schutzbestimmungen, ohne dass dies speziell gekennzeichnet ist.

---

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>XIII</b>
1.1 Für wen dieses Buch geschrieben wurde .....	XIII
1.2 Die Struktur dieses Buches .....	XIV
Was ist neu in der 3. Auflage? .....	XVI
Deutsche Grammatik .....	XVI
Lesermeinungen .....	XVIII
1.3 Danksagung .....	XX
1.4 Über die Autorin .....	XXI
1.5 Über den Verlag .....	XXII
<b>1 Wozu IPv6?</b> .....	<b>1</b>
1.1 Die Geschichte von IPv6 .....	3
1.2 Was ist neu bei IPv6? .....	6
1.3 Wozu braucht es IPv6? .....	7
1.4 Häufige Missverständnisse .....	9
1.5 Wann ist es Zeit für IPv6? .....	10
1.6 IPv6-Status und Herstellersupport .....	12
1.7 Referenzen .....	13
<b>2 Der IPv6 Header</b> .....	<b>15</b>
2.1 Vergleich mit IPv4 Header .....	16
2.2 Die Felder im IPv6 Header .....	17
2.3 Extension Header .....	23
Hop-by-Hop Options Header .....	27
Routing Header .....	30
Fragment Header .....	31
Destination Options Header .....	36
Neues Extension Header Format .....	37
Verarbeitung von Extension Header .....	39
2.4 Referenzen .....	41

<b>3</b>	<b>IPv6-Adressierung</b> .....	<b>43</b>
3.1	IPv6-Adressraum .....	43
3.2	Adresstypen .....	45
	Unicast-, Multicast- und Anycast-Adressen .....	45
	Generelle Regeln .....	46
3.3	Schreibweise von IPv6-Adressen .....	46
3.4	Präfix-Schreibweise .....	48
3.5	Globale Unicast-Adressen .....	51
	Internationale Registry Services und aktuelle Adresszuteilungen .....	52
	Wie viele IPv6-Adressen gibt es nun? .....	53
	Regeln für die Adressvergabe .....	55
	Interface Identifier .....	56
	Adress-Privacy .....	58
3.6	Spezielle Adressen .....	60
	IPv6-Adressen mit eingebetteten IPv4-Adressen .....	61
	Cryptographically Generated Addresses (CGA) .....	62
3.7	Link-Local und Unique-Local IPv6 Adressen .....	62
3.8	Anycast-Adressen .....	64
3.9	Multicast-Adressen .....	67
	Bekannte Multicast-Adressen .....	69
	Solicited-Node Multicast-Adresse .....	72
	Mapping von Multicast-Adressen auf MAC-Adressen .....	73
	Dynamische Zuweisung von Multicast-Adressen .....	74
3.10	Vorgeschriebene Adressen .....	76
3.11	Default Address Selection .....	77
3.12	Referenzen .....	79
<b>4</b>	<b>ICMPv6</b> .....	<b>83</b>
4.1	Aufbau eines ICMPv6-Paketes .....	84
4.2	ICMP-Fehlermeldungen .....	90
	Destination Unreachable .....	90
	Packet Too Big .....	92
	Time Exceeded .....	93
	Parameter Problem .....	95
4.3	ICMP-Informationenachrichten .....	96
	Echo Request .....	97
	Echo Reply .....	98
4.4	Verarbeitungsregeln .....	99
4.5	Der ICMPv6 Header im Trace File .....	101
4.6	Referenzen .....	103

---

<b>5</b>	<b>ICMPv6-basierende Funktionen</b>	<b>105</b>
5.1	Neighbor Discovery	105
	Router Solicitation und Router Advertisement	108
	Neighbor Solicitation und Neighbor Advertisement	112
	Die ICMP Redirect Nachricht	116
	Neighbor Discovery Optionen	117
	Inverse Neighbor Discovery	120
	Secure Neighbor Discovery	123
	Router Advertisement im Trace File	125
	Link-Layer Address Resolution	127
	Neighbor Unreachability Detection	128
5.2	Autokonfiguration	131
5.3	Netzwerk Präfixänderung	138
5.4	Path MTU Discovery	139
5.5	Multicast Listener Discovery	141
	MLD Version 1	141
	MLD Version 2	145
	Multicast Router Discovery	149
5.6	Referenzen	150
<b>6</b>	<b>Networking</b>	<b>155</b>
6.1	Layer 2 Support für IPv6	155
	Ethernet (RFC 2464)	157
	Point-to-Point Protocol (RFC 5072)	160
	IEEE 802.15.4 (RFC 4944)	161
	ATM (RFC 2492)	161
	Frame Relay (RFC 2590)	162
6.2	Upper-Layer Protokolle	162
	UDP und TCP	163
6.3	Multicast	165
	Multicast Layer 2 Protokolle	166
	Multicast Routing	166
	Protocol Independent Multicast (PIM)	167
6.4	Routing-Protokolle	167
	Die Routing-Tabelle	168
	Inhalt der Routing-Tabellen und Auffinden der Route	169
	Default Route	172
	RIPng	173
	OSPF für IPv6 (OSPFv3)	176
	IS-IS	180

	EIGRPv6 .....	183
	BGP-4-Unterstützung für IPv6 .....	186
	Wahl von Routing-Protokollen in Netzwerk Designs mit IPv6 .....	188
6.5	Quality of Service .....	191
	QoS Basics .....	192
	Integrated Services .....	193
	Differentiated Services .....	194
	QoS in IPv6-Protokollen .....	195
6.6	Referenzen .....	201
<b>7</b>	<b>DNS und DHCPv6 .....</b>	<b>207</b>
7.1	DHCPv6 .....	207
	DHCP Begriffe .....	210
	DHCPv6 Header Format .....	213
	DHCP Unique Identifier .....	218
	Identity Association .....	219
	DHCP-Kommunikation .....	220
	Prefix Delegation .....	232
	Überlegungen zu Security .....	233
	Weiterentwicklung .....	237
	Dynamic DNS Updates .....	238
	Stateless DHCP .....	238
7.2	DNS .....	239
	AAAA Records (RFC 3596) .....	240
	DNS Server .....	240
	DNS Resolver .....	241
	DNS im Trace File .....	244
	Happy Eyeballs .....	245
7.3	Referenzen .....	247
<b>8</b>	<b>Security .....</b>	<b>253</b>
8.1	Risiken .....	254
8.2	Sicherheitsaspekte mit IPv6 .....	255
8.3	IPsec Basics .....	256
	Security Associations .....	258
8.4	Key Management .....	259
	IKE Version 1 .....	259
	IKE Version 2 .....	260
8.5	IPv6 Security-Komponenten .....	262

---

	Authentication Header .....	263
	Encapsulating Security Payload Header .....	266
	Kombination von AH und ESP .....	270
8.6	Interaktion von IPsec mit IPv6-Elementen .....	270
8.7	Kritische Bereiche .....	271
	Native IPv6 .....	273
	Transitions- und Tunnelmechanismen .....	279
8.8	Enterprise Security Modelle .....	280
	Neue Security Modelle .....	281
	Directory Services für Access Control .....	282
	IPv6 Security Konzept und Firewall Filterregeln .....	284
8.9	Referenzen .....	286
<b>9</b>	<b>Mobile IPv6 .....</b>	<b>291</b>
9.1	Einführung .....	293
	Mobile IPv6 Begriffe .....	294
	Wie Mobile IPv6 funktioniert .....	296
9.2	Das Mobile IPv6 Protokoll .....	298
	Mobility Header und Mobility-Nachrichten .....	298
	Die Binding Update Nachricht .....	302
	Das Binding Acknowledgement .....	304
	Mobility-Optionen .....	306
	Routing Header Type 2 .....	308
9.3	ICMPv6 and Mobile IPv6 .....	309
	Home Agent Address Discovery .....	309
	Mobile Prefix Solicitation .....	311
	Änderungen in Neighbor Discovery für Mobile IPv6 .....	313
9.4	Mobile IPv6-Kommunikation .....	315
	Binding Cache .....	315
	Binding Update Liste .....	316
	Verhalten des Home Agents .....	317
	Kommunikation mit Correspondent Node .....	320
	Movement Detection .....	326
	Returning Home .....	327
9.5	Security .....	327
9.6	Erweiterungen zu Mobile IPv6 .....	329
	NEMO .....	329
	Hierarchical Mobile IPv6 .....	330
	Proxy Mobile IPv6 .....	332

	Multiple Care-of Addresses Registration .....	332
	Flow Binding .....	333
	Fast Handover .....	333
	Support für Dual-Stack Hosts und Router .....	334
9.7	Referenzen .....	334
<b>10</b>	<b>Integration von IPv6 .....</b>	<b>337</b>
10.1	Dual-Stack .....	338
	Vor- und Nachteile der Dual-Stack .....	339
10.2	Tunneltechniken .....	340
	Wie Tunneling funktioniert .....	341
	Konfigurierte Tunnel .....	348
	Automatische Tunnel .....	348
	Encapsulation in IPv6 (RFC 2473) .....	349
	Tunnel-Übergangsmechanismen .....	352
10.3	Netzwerk Adress- und Protokoll-Translation .....	382
	Stateless IP-ICMP Translation (SIIT) .....	384
	NAT-Mechanismen zur Dehnung des IPv4-Adressraums .....	385
	NAT als Translation-Mechanismus .....	390
	NPTv6 und NAT66 .....	399
	Load Balancing .....	401
10.4	Vergleich .....	402
	Dual-Stack .....	402
	Tunneling .....	403
	Translation .....	404
10.5	Referenzen .....	405
<b>11</b>	<b>Planung der Einführung von IPv6 .....</b>	<b>411</b>
11.1	Integrations-Szenarien .....	412
	Organisationen .....	412
	Internet Service Provider .....	414
	Mobile Netzwerke .....	415
	Heimnetzwerke .....	415
11.2	Planung IPv6-Einführung .....	416
	Vorgehensweisen (Best Practices) .....	419
	Einführungsszenarien .....	422
	Case Studies .....	423
11.3	Was fehlt uns noch? .....	424



---

	IPv6 Routing .....	425
	Protokollwahl auf Dual-Stack Knoten .....	425
	Multihoming mit IPv6 .....	426
	DNS .....	427
	DHCPv6 .....	428
11.4	Sicherheitsaspekte .....	428
11.5	Applikationen .....	429
11.6	Do's und Don'ts .....	433
	IPv6 ist fast wie IPv4 .....	433
	Unausweichliche Bugs und allgemeine Assessments .....	434
	Vendorstrategie und RFC-Anforderungen .....	435
11.7	Design Guidelines .....	438
	Adressplan .....	439
11.8	Kosten .....	449
	Hardware .....	449
	Software .....	449
	Ausbildung .....	450
	Planung .....	451
	Andere Kosten .....	452
11.9	Referenzen .....	453
<b>12</b>	<b>Appendix .....</b>	<b>457</b>
12.1	Allgemeine RFC Informationen .....	457
12.2	Drafts .....	459
12.3	RFC-Index für IPv6 .....	460
12.4	Empfohlene Literatur .....	461
<b>Index</b>	.....	<b>463</b>