

Netze und Protokolle für das Internet



7. Internet Protocol Version 6

Inhalt

- Adressierungsprobleme
- IPng-Entwicklung
- IPng/IPv6 Eigenschaften
- Unicast- und Multicast-Adressen
- IPv4 und IPv6 Header
- Erweiterungs-Header
- ICMP
- Zustandslose automatische Adresskonfiguration
- IPv6 Adressauflösung
- IPv6 Flows
- Übergangsstrategien
 - Doppelte Protokoll-Stacks
 - Tunneln
 - Übergangsmöglichkeiten für Provider und Endbenutzer
 - No Network Address Translation (NAT)
 - Stateless IP/ICMP Translation (SIIT)
 - Network Address Translation / Protocol Translation (NAT/PT)
 - Bewertung Adressübersetzung
- Auswirkungen von IPv6 auf andere Protokolle und höhere Schichten

SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

2

Adressierungsprobleme

- Klasse-B-Adressen sind nahezu erschöpft.
 - CIDR (classless inter-domain routing) als kurzfristige Lösung
- Routing-Tabellen wachsen sehr schnell.
 - Adressierungshierarchie mit zusätzlichen Ebenen erforderlich
- IP-Adressraum wird irgendwann auslaufen.
- (Mobile) Internet-Geräte in Autos, Haushalten etc.
→ 10 Milliarden Menschen im Jahr 2020 und 100 IP-Adressen pro Person sind nicht unrealistisch.
- Lösung: grösserer Adressraum
⇒ Neues IP Protocol Version 6 (IPv6) ersetzt IPv4.

SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

3

IPng-Entwicklung

- 1992
 - IETF verbreitet Call for Proposals für ein IP next generation Protokoll (IPng), um die aktuelle IP Version 4 zu ersetzen
- 1994
 - SIPP (Simple Internet Protocol Plus) wird als Grundlage für das neue IPng vorgeschlagen
- 1995
 - Internet Draft „Internet Protocol, Version 6 (IPv6)“ wird Proposed Standard“ (9/95) und RFC1883 (12/95)
 - erste prototypische Implementierungen
- 1996
 - Aufbau des IP Version 6 Backbones (6Bone), erste Produkte
- 1998
 - RFC 2460, Draft Standard

SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

4

IPng/IPv6 Eigenschaften I

- Erweiterte Adressierungsmöglichkeiten
 - 128-Bit-Adressen (6.65 · 10²³ Adressen pro m² der Erdoberfläche)
 - Adresshierarchieebenen (Registrierungsinstanz, Provider, Subscriber, Subnetz, Interface)
 - automatische Adresskonfiguration
- Neues IP Header Format
 - vereinfachter, minimaler IP-Header
 - verbesserte Unterstützung neuer Optionen und Erweiterungen: Erweiterungs-Header
 - Segmentieren und Reassemblieren in Endsystemen

SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

5

IPng/IPv6 Eigenschaften II

- Quality-of-Service-Unterstützung
 - Flow Labels erlauben die Markierung von Anwendungsdatenflüssen auf IP-Ebene.
 - Traffic Class für Differentiated Services
- Multicast-Integration
 - vordefinierte Multicast-Gruppen für Kontrollfunktionen
 - IGMP (Internet Group Management Protocol) in ICMP (Internet Control Message Protocol) integriert
 - spezielles Multicast-Adressformat
 - Alle Router und Endsysteme unterstützen Multicast, um Broadcast falls möglich zu vermeiden.
- IP Security
 - Authentifizierung und Verschlüsselung

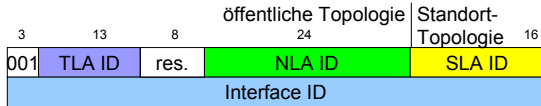
SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

6

Aggregierbare globale Unicast-Adresse

- Top Level Aggregation (TLA)
 - grosse Internet Service Provider (ISP) mit Transitnetzen, an denen andere ISPs angeschlossen sind
- Next Level Aggregation (NLA)
 - Organisationen auf einer niedrigeren Stufe
 - Mehrere NLA-Ebenen sind möglich.
- Site Level Aggregation (SLA)
 - individuelle Adressierungshierarchie einer einzelnen Organisation

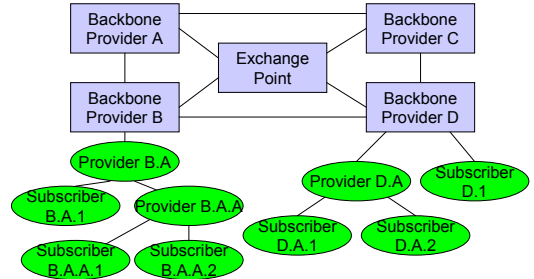


SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

7

TLA und NLA



SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

8

Spezielle Unicast-Adressen

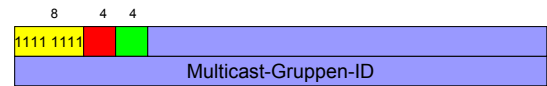
- Lokale Unicast-Adressen
 - Link-lokal
 - für Konfigurationszwecke oder IP-Netze ohne Router
 - Präfix: 111111101::/64
 - Standort-lokal
 - für nicht an das Internet angeschlossene IP-Netze
 - beim Anschluss eines Standorts muss lediglich das Adresspräfix (1111111011::/48) ersetzt werden
 - SLA und Interface ID bleiben unverändert
- Kompatible Unicast-Adressen
 - IPv4-kompatibel
 - Präfix (96 0-bits) + IPv4-Adressen
 - IPv4-mapped
 - Präfix (80 0-bits, 16 1-bits) + IPv4-Adressen
 - IPX-kompatibel
 - NSAP-kompatibel

SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

9

IPv6-Multicast-Adresse



- Flags (000T)
 - T=0: permanent (well-known)
 - T=1: transient
- Scope (Gültigkeitsbereich)
 - Knoten-lokal
 - Link-lokal
 - Standort-lokal
 - Organisations-lokal

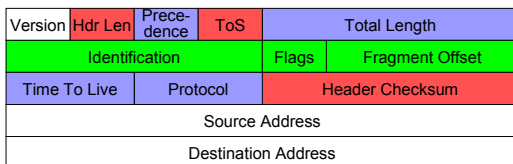
SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

10

IPv4 Header

- 20 Bytes
- 13 Felder
- gestrichen
- in Erweiterungs-Header verschoben
- umbenannt
 - precedence → class
 - total length → payload length
 - time to live → hop limit
 - protocol → next header

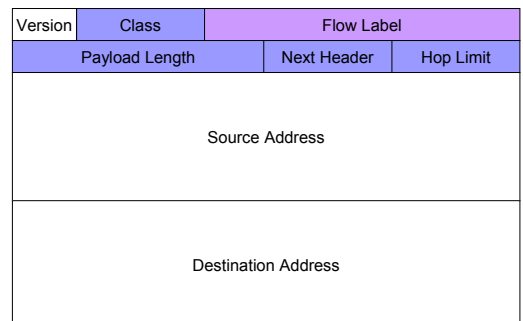


SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

11

IPv6 Header



SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

12

Erweiterungs-Header

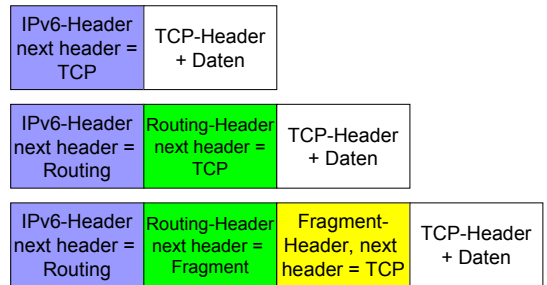
- Verkettung von Erweiterungs-Headern
⇒ kleiner minimaler Header
- flexible Header abhängig von Anforderungen der Anwendung oder Eigenschaften der Netze
- einfache Einführung neuer zukünftiger Erweiterungen und Optionen
- Erweiterungs-Header, die nach den Hop-by-Hop-Optionen folgen, werden nur in den durch die in der IPv6-Adresse gekennzeichneten Knoten verarbeitet.

SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

13

Beispiele für Erweiterungs-Header

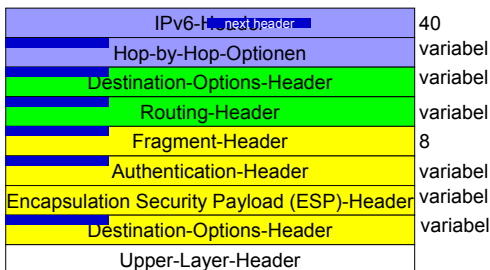


SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

14

IPv6-Paket mit Erweiterungs-Header



Destination-Options-Header

- im ersten Ziel-Knoten und in Knoten des Routing-Headers
- im endgültigen Zielknoten

SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

15

Routing Header

next header	header extension length	routing type	segments left
reserved			
address [0]			
address [1]			

- Routing-Header um Pakete durch bestimmte Regionen zu leiten
 - Auswahl von Internet Service Providern (Anycast-Adressen)
 - Policy- und Leistungsaspekte
 - Skalierbare Multicast-Kommunikation für kleine Gruppen
- Liste von zu besuchenden Unicast/Anycast-Adressen
- Segments left: Anzahl von noch zu besuchenden Knoten

SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

16

ICMP

type	code	checksum
message body		

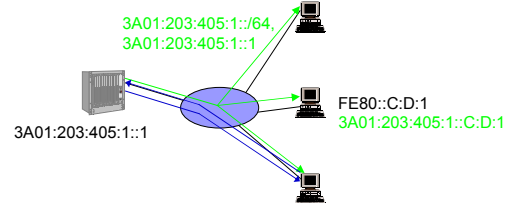
- Type = 2
- ICMP Nachrichten (Code)
 - Fehlermeldungen (1-4)
 - Informationsnachrichten
 - Echo Request und Reply (128/129)
 - Group Management (130-132) (Group Membership Query, Report, LeaveGroup/Termination)
 - Neighbor Discovery
 - Router Solicitation/Advertisement (133/134)
 - Neighbor Solicitation/Advertisement (136/136)
 - Redirect (137)
 - Router Renumbering (138)

SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

17

Zustandslose automatische Adresskonfiguration



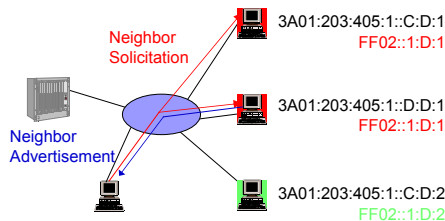
- Router verbreitet Parameter periodisch an Multicast-Gruppe aller Hosts (Router Advertisement)
- Host sendet Router Solicitation an Multicast-Gruppe aller Router, direkte Antwort des Routers

SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

18

IPv6 Adressauflösung



SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

19

IPv6 Flows

- Folge von Paketen, für die eine Quelle besondere Behandlung wünscht (z.B. Realzeitdaten)
- eindeutige Identifikation
 - von Datenflüssen zwischen Endsystemen
 - durch Quelladresse und zufällig gewählten Flow Label (IPv4: IP-Adressen und Ports)
- Flow Verarbeitung
 - spezielle Paketverarbeitung
 - Quality-of-Service Unterstützung
 - Verarbeitungsinformation wird ausgetauscht durch
 - Paket-Optionen, z.B. Hop-by-Hop-Optionen
 - Ressourcenreservierungsprotokolle, z.B. RSVP
 - vereinfachte Paketverarbeitung

SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

20

Übergangsstrategien

- IPv4- und IPv6-Systeme müssen miteinander kommunizieren können.
 - Nach einer Übergangsphase werden nur noch einige wenige reine IPv4-Systeme übrig bleiben.
- ⇒ Basismechanismen
- Doppelte Protokoll-Stacks
 - IPv6-in-IPv4-Tunneling
- IPv6/IPv4-Header-Übersetzung ist nur für die Kommunikation zwischen reinen IPv4-Knoten und reinen IPv6-Knoten notwendig.
 - Komplexere Mechanismen
 - No Network Address Translation (NNAT)
 - Stateless IP/ICMP Translation (SIIT)
 - Network Address Translation / Protocol Translation (NAT/PT)

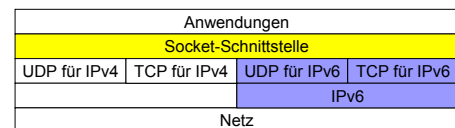
SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

21

Doppelte Protokoll-Stacks

- Doppelte Protokoll-Stacks
 - UDP/IPv4 und UDP/IPv6
 - TCP/IPv4 und TCP/IPv6
- IPv6 als zusätzliche Protokolfamilie
- Alle IPv6-Systeme werden während der Übergangsphase auch einen IPv4-Stack haben.

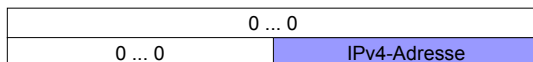


SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

22

IPv4-kompatible Adresse



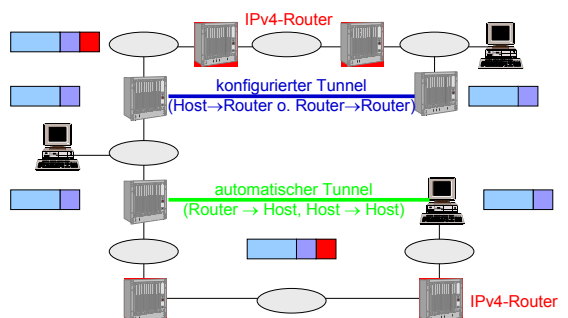
- Benutzung durch IPv6-Systeme zur Kommunikation mit anderen IPv6-Systemen unter Benutzung von automatischem Tunneln
- Systeme verwenden ihre IPv4-Adresse um eine IPv6-Adresse zu bilden
- nur nützlich in der frühen Übergangsphase
- Verlust der Vorteile reiner IPv6-Adressierung

SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

23

Tunneln

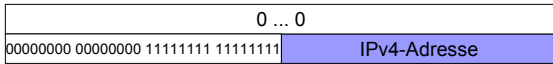


SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

24

IPv4-Mapped Adresse



- Kommunikation von IPv6-Systemen mit IPv4-Systemen
- IPv4-Mapped Adresse zeigt an, dass das adressierte IP-System IPv6 nicht unterstützt.
⇒ Auswahl des IPv4-Stacks

Übergangsplan

- Upgrade von IPv4 Routern zu Routern mit doppeltem Protokollstack
- inkrementeller Aufbau des IPv6 Routing Systems
 - IPv6-über-IPv4-Tunnel zum Aufbau des IPv6-Backbones (6Bone)
 - Wachstum wie Multicast-Backbone (Mbone)
- Deaktivieren der Tunneln sobald die reinen IPv4 Router ersetzt wurden

Übergangsoptionen für Provider

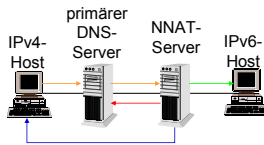
- keine Massnahmen
 - IPv6-Benutzer können IPv4-Provider per Tunneln übergehen.
 - ISP kann keine IPv6-Dienste anbieten.
- Aufbau einer Tunnel Infrastruktur über das existierende IPv4 System
 - keine Änderung bei internem IPv4-Routing
 - IPv6/IPv4-Tunneln durch Router an den Kanten des Netzes
 - Anbieten von IPv6-Diensten möglich
- inkrementeller Aufbau eines doppelten IPv4/IPv6 Routing Systems

Übergangsschritte für Endbenutzer

- inkrementelles Upgrade von IPv4 Endsystemen zu Endsystemen mit IPv4/IPv6 Stacks
 - Benutzung von IPv4-kompatiblen Adressen unter Benutzung existierender IPv4-Adressen
 - automatisches Tunneln über IPv4 zwischen IPv6-Endsystemen
- Einsatz von IPv6 Routern
 - Hosts erlangen reine IPv6-Adressen durch automatische Adresskonfiguration, sobald in ihrem Netz ein IPv6-Router eingesetzt wird.
- Verbindung von IPv6 Routern mit IPv6 Backbone

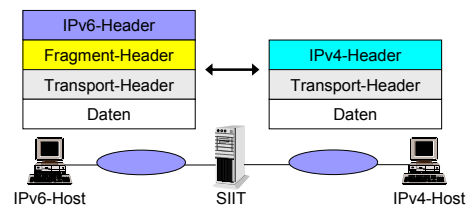
No Network Address Translation (NNAT)

- Annahmen
 - doppelter Protokollstack, aber keine permanente IPv4-Adresse im IPv6-Host
 - Pool freier IPv4-Adressen
- 1. Fall: Initiierung durch IPv6-Host
 - Allokation einer IPv4-Adresse über DHCP
- 2. Fall: Initiierung durch IPv4-Host
 - NNAT-Server = DNS-Server + DHCP-Server
 - 1. DNS-Anfrage an DNS-Server u. Weiterleiten an NNAT-Server
 - 2. Allokation einer temporären IPv4-Adresse und Mitteilen an IPv6-Host (DHCP-Reconfigure) und DNS-Server (DNS-Update)
 - 3. DNS-Antwort an IPv4-Host



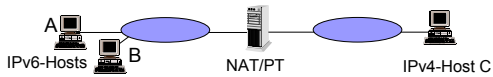
Stateless IP/ICMP Translation (SIIT)

- setzt dynamische Allokation von IPv4-Adressen voraus
- unterstützt Kommunikation zwischen reinen IPv6-Systemen und reinen IPv4-Systemen
- zustandslose Übersetzung von IPv4/IPv6- und ICMPv4/ICMPv6-Paketten
- keine Übersetzung von Routing-Headern, Hop-by-Hop-Optionen und Destination-Optionen



Network Address Translation / Protocol Translation (NAT/PT)

- A sendet Paket an C
 - src = IPv6-Adresse von A
 - dst = PREFIX::IPv4-Adresse_von_C (z.B. Präfix f. IPv4-mapped Adresse)
- NAT/PT ist Router für alle Adressen mit Präfix „PREFIX“ (Anzeige von Router-Advertisements)
- Allokation einer temporären IPv4-Adresse bei Session-Initialisierung durch NAT/PT
- Adress- und Protokoll-Übersetzung, z.B. durch SIIT
- Verwenden einer IPv4-Adresse für verschiedene IPv6-Hosts durch die Benutzung (Abbildung) verschiedener Port-Nummern
- NAT/PT erkennt einkommende Sessions (an IPv6-Hosts) anhand von DNS-Anfragen



SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

31

Addressübersetzung

- + keine Änderungen in den Endsystemen oder Routern notwendig
- Komplexität
- schlechtere Leistungsfähigkeit durch Addressübersetzung in den Routern
- keine Unterstützung von Multicast
- Probleme bei Anwendungen (z.B. ftp), bei denen IP Adressen in den Anwendungsdaten vorkommen → Application Level Gateway

SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

32

Auswirkungen von IPv6 auf andere Protokolle

- Routing Protokolle
 - Handhabung der längeren Adressen
- Transportprotokolle
 - Reduzierte maximale Nutzlastlänge wegen des grösseren IP-Headers
 - Neuer IP-Pseudo-Header verändert Implementierung der Prüfsummenberechnung in UDP (nun obligatorisch) und TCP.
 - TCP unterstützt gegenwärtig IP-Adressänderung während einer TCP-Verbindung nicht.

SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

33

Auswirkungen von IPv6 auf höhere Schichten

- Modifizierte Socket API erfordert Änderungen von Anwendungen
 - neue Adressfamilie AF_INET → AF_INET6
 - Flow Label
- Domain Name System (DNS)
 - neuer DNS Record-Typ (AAAA)
 - dynamische DNS-Updates

SS 02

Torsten Braun (Universität Bern): Netze und Protokolle für das Internet

34