



IPv6 –Seminar  
29.11.05

Dirk Hetzer, T-Systems, Klaus Rebenburg  
Siehe auch weiteres Material auf der Webseite

Folie 1

---

---

---

---

---

---

---

---

### Agenda - Inhalte (1/3)

IPv6 - Das Internet-Protokoll der Nächsten Generation  
Historie von IPv6

#### Warum IPv6?

- Problem with NATs
- IPv6 Design Goals

#### IPv6 Header

- Protokollheader
- Erweiterungsheader

#### IPv6 Addressing

- Representation of Addresses
- Interface Identifiers
- Types of Addresses
- Routing Implications of Addressing
- Multicast Addresses

Folie 2

---

---

---

---

---

---

---

---

### Agenda (2/3)

IPv6 - Das Internet-Protokoll der Nächsten Generation

#### Automatic Configuration

- IPv6 Autokonfiguration: Plug & Play
- IPv6 Autokonfiguration: Neighbor Discovery
- IPv6 Autokonfiguration: DHCPv6
- Renumbering

#### Mobility

#### Security

#### QoS

#### Work in Progress

- Multihoming
- DNS
- Link Layers
- Routing Protocols

Folie 3

---

---

---

---

---

---

---

---

## Agenda (3/3)

### IPv6 - Das Internet-Protokoll der Nächsten Generation

#### Transition Strategies

- Allgemeine Strategien
- Tunneling
- Translation
- Dual Stack
- Vorgehensweise eines ISPs
- Schlußfolgerungen

#### IPv6 heute - weltweit

- Existierende IPv6 Networks
- IPv6 Production Service Networks
- Host Implementations
- Router Implementations
- Netzwerke
- Berkom Testnetz

Folie 4

---

---

---

---

---

---

---

---



## Historie von IPv6

Folie 5

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 - Das Internet-Protokoll der Nächsten Generation: Historie

- Zu Beginn der 80er Jahre war heutige Internet-Entwicklung nicht absehbar
- Prognosen von ca. 100.000 Teilnehmer für die nächsten Jahre
- Vereinfachung der Adreßverwaltung durch Adreßklassen (Class A ... D)
- IETF Konferenz (Internet Engineering Task Force) 1991 in Vancouver prognostiziert für 1994 Mangel an Class B Adressen ⇒ CIDR
- Bildung der ROAD (Routing and Addressing) Arbeitsgruppe in der IETF ⇒ „Call for IPng Proposal“
- Verschiedene Vorschläge für ein „IP der nächsten Generation“ (siehe Grafik folgende Folie)
- 1993: Gründung einer „IPng-Area“ in der IETF zur Koordinierung der Arbeiten an einem

Folie 6

---

---

---

---

---

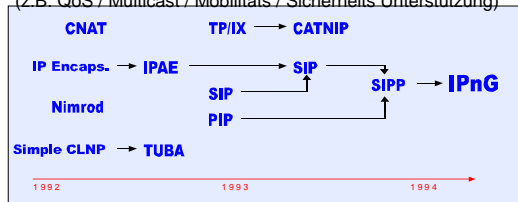
---

---

---

## IPv6 - Das Internet-Protokoll der Nächsten Generation: Historie

- **Ergebnis:** 21 Antworten (Informational RFCs 1668 - 1688) aus den verschiedensten Bereichen der Kommunikationsindustrie mit Anforderungen an IPng, die weit über eine einfache Adreßerweiterung hinausgehen (z.B. QoS / Multicast / Mobilitäts / Sicherheits Unterstützung)



Folie 7

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Warum IPv6?

- Limitations of IPv4
- IPv4 Adressen
- Probleme mit NAT
- IPv6 Design Vorgaben

Folie 8

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Warum IPv6? Limitations of IPv4

- IPv4 in den 70er Jahren für die Vernetzung von einigen Hundert Endsystemen entwickelt (DARPA-Net) - Heutige Internet-Entwicklung war nicht absehbar
- Prognosen von ca. 100.000 Teilnehmer für die nächsten Jahre
- Resultierende Einschränkungen von IPv4:
  - Beschränkter IPv4 Adreßraum (32 Bit = 4.294 Mrd. Endsysteme)

Klasse	Adreßbereich	Mögliche Zahl von Subnetzen	Anzahl der Endsysteme pro Subnetz
A	0.0.0.0 bis 127.255.255.255	128	ca. 16,78 Mio
B	128.0.0.0 bis 191.255.255.255	16.384	65.536
C	192.0.0.0 bis 223.255.255.255	ca. 2,09 Mio.	255
D	224.0.0.0 bis 239.255.255.255	ca. 268,44 Mio.	Multicast Adressen
E (F)	240.0.0.0 bis 255.255.255.255		reserviert / experimentell

- Beschränkter Einsatzbereich und den neueren Internet-Anforderungen (QoS, Security, Mobilitätsunterstützung, ...) nicht

Folie 9

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Warum IPv6? IPv4 Address Space

IPv4 Adressen wurden ohne Beachtung der Verwendung und des Routings vergeben

- Über 100.000 Routing Einträge in global routing table
- Ausserhalb Nordamerikas gibt es nicht genügend Adressen
  - Third-generation cellular, TVs, etc.
  - PDAs
  - Gaming Devices (PS2 etc.)
  - NATs

Folie 10

---

---

---

---

---

---

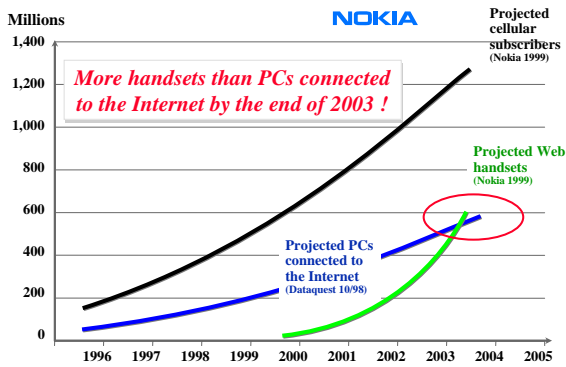
---

---

---

---

## Warum IPv6? Prognosen zum IPv4 Address Space



Folie 11

---

---

---

---

---

---

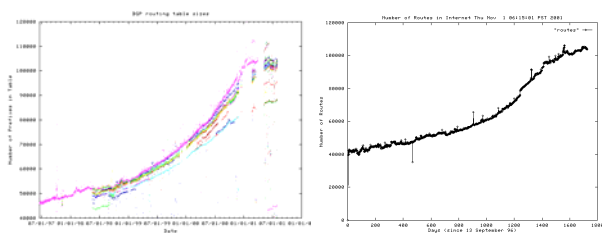
---

---

---

---

## Warum IPv6? Entwicklung der Routingeinträge auf den Backbone Routern



Folie 12

---

---

---

---

---

---

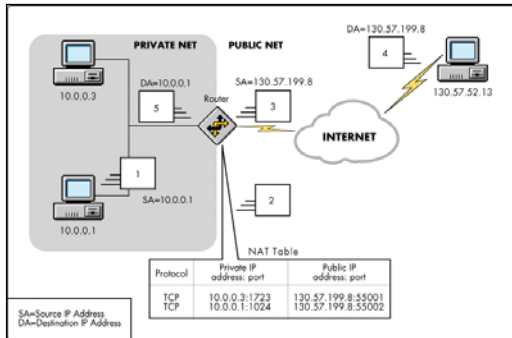
---

---

---

---

## Warum IPv6? Probleme mit NATs 1/2



Folie 13

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Warum IPv6? Probleme mit NATs 2/2

NATs verletzen das Ende-zu-Ende Paradigma des Internets - folgende Anwendungen arbeiten nicht, oder nur schlecht mit NAT's zusammen

- IPsec
- Voice/Video
- Network games (such as Quake)
- Multicast

↑ Global eindeutige und routbare Adressen sind erwünscht und notwendig

Folie 14

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Warum IPv6? IPv6 Design Vorgaben

- Enough addresses
- Hierarchische Adressierung um Größe der Routing Tabellen zu begrenzen
- QoS
- Security
- Mobility
- Auto-configuration (plug-and-play)
- Seamless migration/transition
- Erweiterbarkeit bzgl. zukünftiger Protokollanforderungen

Folie 15

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## IPv6 Basistechnologie

### IPv6 Header

- IPv6 Adreßstruktur und Adreßhierarchie
- IPv6 Autokonfiguration (Plug & Play)
- IPv6 Mobility Support
- IPv6 Sicherheitsmechanismen

Folie 16

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Specifications

Wesentliche Unterschiede zwischen IPv6 und IPv4



- Die IPv4-Adressen (4 Byte) sind in einigen Jahren vollständig vergeben
- Die fast lineare Adressierung impliziert ineffizientes Routing (CIDR oder NATs lösen das Problem nicht)
- IPv4-Systeme müssen vom Administrator „von Hand“ im Netz konfiguriert werden
- Datensicherheit ist optional
- Keine explizite Unterstützung von QoS-Mechanismen



- Die IPv6-Adressen (16 Byte) bilden eine beinahe unerschöpfliche Ressource
- Die strukturierte Adressierung (providerbasiert, hierarchisch etc.) erlaubt effizientes Routing
- IPv6-Endsysteme werden im Netz automatisch konfiguriert
- Datensicherheit ist ein inhärentes Konzept (Verschlüsselung etc.)
- Implizite Unterstützung von QoS-Konzepten durch *Flow Label*

Folie 17

---

---

---

---

---

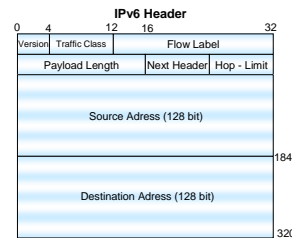
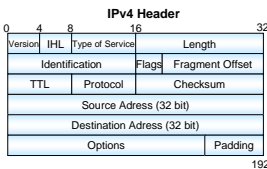
---

---

---

## IPv6 Specifications

Wesentliche Unterschiede zwischen IPv6 und IPv4



↓ 4 Byte Adresslänge, das entspricht  $2^{32}$  (ca. 4 Milliarden) Endsystemadressen (75% davon reserviert für USA)

↓ Systeme müssen meist vom Administrator bzw. „von Hand“ im Netz konfiguriert werden

↓ 16 Byte Adresslänge, das entspricht theoretisch  $2^{128}$  (ca.  $3,4 \cdot 10^{38}$ ) Endsystemadressen

↓ Senkung des Management- und Konfigurationsaufwandes durch volle Plug&Play Funktionalität

Folie 18

---

---

---

---

---

---

---

---







## IPv6 Basistechnologie

- IPv6 Header
- IPv6 Adressstruktur und Adreßhierarchie
- IPv6 Autokonfiguration (Plug & Play)
- IPv6 Mobility Support
- IPv6 Sicherheitsmechanismen

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Addressing Adress-Repräsentation

- IPv6-Adressen sind 16 Byte lang und adressieren somit  $3,4 \cdot 10^{38}$  Endsysteme (genauer 340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456)
  - ↑ 667 Billionen Adressen pro Quadratmillimeter Erdoberfläche
- Notation: - 2-Byte Gruppen in Hex-Schreibweise durch „:“ getrennt (Bsp. 3FFE:0400:00D0:0000:02A0:C9FF:FEF0:57AC)
  - führende Nullen und „Null“-Byte Gruppen entfallen (Bsp.: 3FFE:400:D0::2A0:C9FF:FEF0:57AC)
  - Anzahl der gültigen Bits der Adresse (Netzmasken) durch „/“ hinter der Adresse gekennzeichnet (Bsp.: 3FFE:400:D0::2A0:C9FF:FEF0:57AC / 64)
- Besser Host-Namen (sax6.ipv6.berkom.de)+DNS nutzen, als IPv6-Adressen merken :-)
- Aufteilung dieses enormen Adreßraumes notwendig und sinnvoll
- Verschiedene Ansätze: - Adreßfunktionalitäten (Unicast, Folie 29)

---

---

---

---

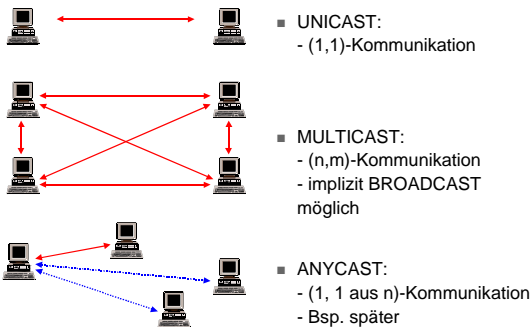
---

---

---

---

## IPv6 Addressing Adressierungsarten



---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Addressing

### Aufteilung des Adressraums

Derzeit zugeordnete Adressbereiche (Rest hat momentan noch keine Verwendung):

Präfix	Präfix (binär)	Verwendung	% Anteil
0::/8	0000 0000	reserved	0,4
	0::0:1	Loopback	
	::0102:0304	IPv4 compatible (für IPv4 -> IPv6 Transition)	
	::FFFF:0102:0304	IPv4 mapped (für IPv4 -> IPv6 Transition)	
200::/7	0000 001	ISO Network addresses	0,8
400::/7	0000 010	Novell Network addresses	0,8
2000::/3	001	Aggregatable global unicast addresses	12,5
8000::/3	100	(ehem. Geographic based unicast addresses)	
FE80::/10	1111 1110 10	Link local address	0,1
FEC0::/10	1111 1110 11	Site local address	0,1

Folie 31

## IPv6 Addressing

### Unicast Addresses

- Aggregatable global unicast address
- Link-local unicast address
- Site-local unicast address
  - Loopback address (::1)
  - Unspecified address (::)
- IPv4 compatible address
- IPv4 mapped address

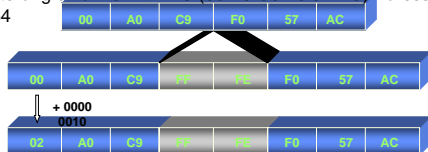
**Merke:** Alle IPv6 Adressen sind stets an einen Gültigkeitszeitraum gebunden und "timen" dannach aus !!!  
(Normalerweise ist dieses Haltbarkeitsdatum jedoch auf unendlich gesetzt :-)

Folie 32

## IPv6 Addressing

### Interface Identifiers

- Interface Identifier (letzten 64 Bit) der Endsysteme muß nur im Teilnetz eindeutig sein und wird aus dem der MAC Adresse des Interfaces erzeugt
- Erweiterung einer 48-Bit MAC (00:A0:C9:F0:5F:AC) Adresse auf EUI-64



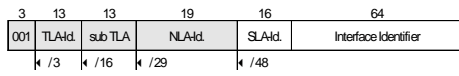
- Somit ergibt sich die folgende Link-Lokale Adresse für sax6.IPv6.berkom.de  
FE80::02A0:C9FF:FEF0:5FAC  
und die globale aggregierbare Unicast-Adresse

Folie 33

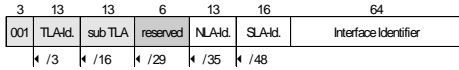


## IPv6 Addressing

### Addressvergabe (Globale Unicast Adresse) durch RIPE



- Adressvergabe laut RFC 2540



- Adressvergabe laut RIPE 196 (Bootstrap Phase)

Folie 37

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Addressing

### IPv4 Compatible Addresses

Written as ::<IPv4\_address>

- For example, ::194.226.80.160

Used for automatic IPv6-over-IPv4 tunnels to enable IPv6 hosts to talk over IPv4 network

Folie 38

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Addressing

### IPv4 Mapped Addresses

Written as ::ffff:<IPv4\_address>

- For example, ::ffff:194.226.80.160

IPv6 representation of IPv4 interface

Used by resolver and to access IPv4 servers

Folie 39

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Addressing

### Routing Implications of Addressing

“Full” TLA is 13 bits

- 8.000 prefixes in global backbone routing table (“default free zone”)

Bootstrap procedure added 13-bit sTLA to one TLA

- Still only 16.000 prefixes

Only TLAs appear in global routing table

- Aggregation of addresses which are announced to the next higher topological level implies as well aggregation of traffic

Folie 40

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Addressing

### Multicast Addresses



- **Typ:** 0000 ... fest definiert (IANA), 0001 ... Adresse wurde „frei“ vergeben
- **Scope:** Gültigkeitsbereich
 

0001	nur lokales Endgerät
0010	Link lokal
0101	Site lokal
1000	Organisations-lokal
1110	Global
- **Regel:** FF02::1:FF00:0/104 zzgl. letzte 24 Bit der Unicast Adresse  
 ↑ Link-Lokale MC Adresse des Endsystems (für Neighbor Discovery)
- **Beispiele für Multicast-Adressen:**

FF01::1	alle lokalen Interfaces	FF02::1	alle Link-lokalen Interfaces
FF05::2	alle Site-lokalen Router	FF0x::202	Sun RPC

Folie 41

---

---

---

---

---

---

---

---

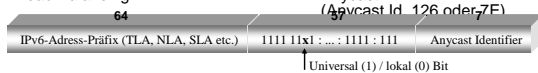
---

---

## IPv6 Addressing

### Anycast Addresses

- Verschiedene Endgeräte sind unter **einer** (Anycast-) Adresse erreichbar
- Auslieferung des Paketes normalerweise an das Interface des Endgerätes, welches (Netztopologie) Routing-mäßig das nächstliegende ist
- Unterscheidet sich nicht von normaler Unicast-Adresse ↑ Anycast Funktionalität ist durch die Router und durch Konfiguration des **Anwendungsbeispiels** realisieren
  - Dienste unter global gleicher Adresse effizient verfügbar (Routing über BGP)
  - Mobile IPv6 Home Agents Anycast (Anycast Id. 126 oder 7E)
- Load Balancing



Folie 42

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Addressing

### Zu unterstützende Adressen

Folgende IPv6 Adreßtypen muß ein IPv6 Device mindestens behandeln können

- **Host** muß unterstützen:
  - Unicast Adresse
  - Multicast Adressen (aus Unicast errechnete, Gruppenadr.)
  - Loopback Adresse
  - Link lokale (errechnete) Adresse
- **Router** muß unterstützen:
  - alle Host Adressen
  - alle Router Anycast
  - alle Router Multicast Adressen
  - berechneten Multicast Adressen für jede Anycast Adresse

Folie 43

---

---

---

---

---

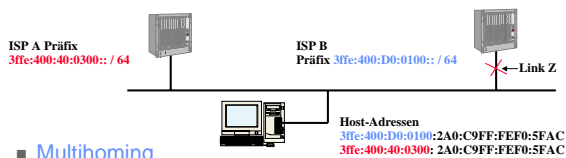
---

---

---

## IPv6 Addressing

### Multihoming Problem



- **Multihoming**
  - Host / Interface kann zu mehreren Sites gehören / verschiedene Präfixe haben
- mehrere Adressen pro Interface sind normal
- Multihoming bricht Aggregations-Prinzip der IPv6 Adressen !
  - da die Endgeräte mit dem Präfix des Providers B auch durch den Provider A erreicht werden müssen, wenn z.B. der Link Z gestört ist
  - Lösungsansätze derzeit in Arbeit in der IETF
    - Host-zentrische Ansätze (z.B. Location based IPv6 Unicast Adressen) \*
    - Netzwerk-zentrische Ansätze (spezielle Peerings zwischen ISP-A)

---

---

---

---

---

---

---

---



## IPv6 Basistechnologie

- IPv6 Header
- IPv6 Adreßstruktur und Adreßhierarchie
- IPv6 Autokonfiguration (Plug & Play)
- IPv6 Mobility Support
- IPv6 Sicherheitsmechanismen

Folie 45

---

---

---

---

---

---

---

---

## Automatic Configuration

### Stateful

- Uses DHCP
- Somebody has to configure the DHCP database in before
- similar to IPv4

### Stateless (Real "plug and play")

- Neighbor discovery
- Router advertisement
- Link-local configuration
- **Still have to find special servers**

Folie 46

---

---

---

---

---

---

---

---

## Automatic Configuration

### IPv6 Autokonfiguration: Plug & Play

#### ■ IPv4 Konfigurations Prozeß :

- 1) IPv4 Adresse
- 2) Default Gateway
- 3) Subnet Mask / Prefix Number
- 4) Domain Name Server and Domain Name
- 5) Solutions => Bootstrap (Static) & DHCP (Dynamic / Server based)



#### ■ IPv6 Konfigurations Prozeß :

- 1) Neighbor Discovery (stateless configuration)
- 2) DHCPv6 (Server basiert, deshalb statefull configuration)

Folie 47

---

---

---

---

---

---

---

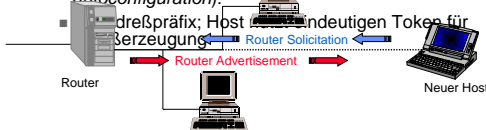
---

## Automatic Configuration

### IPv6 Autokonfiguration: Neighbor Discovery

#### Plug & Play auf Netzwerkebene - Autokonfiguration eines neuen Hosts

- Erzeugen einer Link-Lokalen Adresse (z.B. FE80::02A0:C9FF:FEF0:5FAC)
- Host sendet dann *Router Solicitation Message* mit link-lokaler Adresse
- Router antwortet mit *Router Advertisement Message*:
  - Enthält Informationen zu Adreß-Präfix und globale Adresse des neuen Hosts (*stateful autoconfiguration*) oder (*stateless autoconfiguration*):
- Adreßpräfix; Host erzeugt eindeutigen Token für Router Solicitation



Folie 48

---

---

---

---

---

---

---

---

## Automatic Configuration

### IPv6 Autokonfiguration: Neighbor Discovery

#### ■ Neighbor Discovery (durch ICMPv6) löst folgende Probleme:

- ↑ Router Discovery (1)
- ↑ Parameter Discovery (3)
- ↑ Address Resolution (5)
- ↑ Duplicate Address Detection (7)
- ↑ Neighbor Unreachability Detection (9)
- ↑ Präfix Discovery (2)
- ↑ Adressen Autokonfiguration (4)
- ↑ Next Hop Bestimmung (6)
- ↑ Redirect (8)

#### ■ durch Verwendung von folgenden ICMPv6 Messages

- Router Advertisement (Typ 134) / Solicitation (133) (1), (2), (3), (4), (6)



Folie 49

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Automatic Configuration

### IPv6 Autokonfiguration: Neighbor Discovery

#### ■ Router Solicitation (RS)

- Anfrage an All-Router Multicast Adresse FF02::2
- eigene Adresse ist die derzeitige einzigste verfügbare Link-lokale Adresse

#### ■ Router Advertisement (RA)

- regelmäßig an alle Link-lokalen Systeme (FF02::1) oder auf Anfrage (RS)
- beinhaltet u.a. folgende Informationen
  - M-Option Konfiguration soll über DHCPv6 Server erfolgen (keine Autokonf.)
  - O-Option Nur Präfix vom Router nutzen, Rest DHCPv6 Server
  - H-Option Router ist Home Agent für mobile IP
  - Präfix Adresspräfix des Links, zur Konfiguration einer globalen Unicast-Adr.
  - Präfixlänge Anzahl der gültigen Bits im Präfix
  - Zeitlimit für die Gültigkeit des verteilten Netzwerk-Präfixes
  - Link MTU Erlaubte Größe der Datenpakete auf dem Link

Folie 50

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Automatic Configuration

### IPv6 Autokonfiguration: Neighbor Discovery

#### ■ Neighbor Solicitation (NS)

- Anfrage an All-Hosts Multicast Adresse FF02::1
- Ersatz für ARP unter IPv4 (ICMPv6 Paket mit gesuchter IPv6)
- kann verwendet werden um Adress-Duplication und Nichterreichbarkeit (siehe folgendes State-Diagramm) eines Hosts festzustellen

#### ■ Neighbor Advertisement (NA)

- regelmäßig an alle Link-lokalen Systeme (FF02::1) oder an bestimmtes Endsystem
- beinhaltet Hardware-Adresse (z.B. MAC) des angesprochenen Hosts

#### ■ Redirect (R)

- wird vom Router ausgesendet, wenn ein anderer Router einen (optimaleren) Pfad zum Ziel hat

Folie 51

---

---

---

---

---

---

---

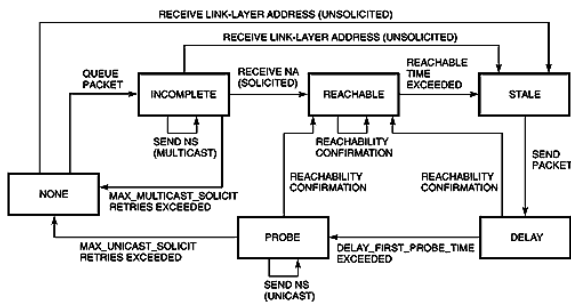
---

---

---

## Das Internet-Protokoll der Nächsten Generation: IPv6 Autokonfiguration: Neighbor Discovery

- Bsp: Neighbor Unreachability States



Folie 52

---

---

---

---

---

---

---

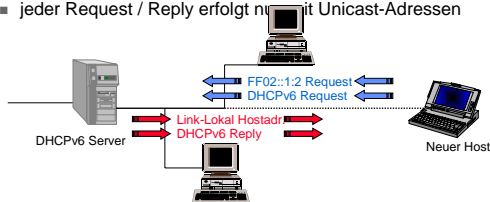
---

---

---

## Das Internet-Protokoll der Nächsten Generation: IPv6 Autokonfiguration: DHCPv6

- Autokonfiguration vermittels eines Servers ↑ Stateful
- Request eines Clienten an alle DHCPv6-Server MC Adresse FF02::1:2 (bzw. an alle DHCPv6 Relais FF05::1:3); Server antwortet Client direkt ↑ danach Client-Server Kommunikation zwischen Host und Server (Request - Reply)
- jeder Request / Reply erfolgt nur mit Unicast-Adressen



Folie 53

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Das Internet-Protokoll der Nächsten Generation: IPv6 Autokonfiguration: DHCPv6

- Folgende Parameter / Messages sind definiert:
  - **DHCP Freigabe** Client gibt zur Verfügung gestellte Ressourcen frei
  - **DHCP Neukonfiguration** Server erzwingt Neukonfiguration des Clients
  - Vom Server zur Verfügung gestellte **Parameter**:
    - IP Adressen und Präfixe
    - Multicast Gruppenadressen für die Neukonfigurationsaufforderung
    - Lebensdauer der Adressen
    - DNS-Name
    - Zeitunterschied zur UTC
    - IP-Adressen der DNS Server
    - TCP-Keep-Alive Zeitintervall
    - Adressen von Servern für verschiedene Dienste (Verzeichnis, Zeit, NIS etc.)
- Alle DHCPv6 Messages können mit **Authentisierungsindex** versehen

Folie 54

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Basistechnologie

- IPv6 Header
- IPv6 Adreßstruktur und Adreßhierarchie
- IPv6 Autokonfiguration (Plug & Play)
- IPv6 Mobility Support
- IPv6 Sicherheitsmechanismen

Folie 55

---

---

---

---

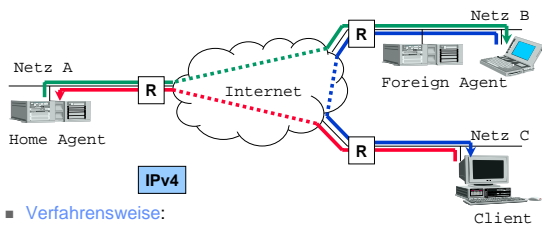
---

---

---

---

## Mobilitäts Unterstützung Mobile IPv4



- **Verfahrensweise:**
  - Mobiler Node erhält vom Foreign Agent im "Gastnetz" eine IPv4 "Care Off" Adresse
  - teilt diese Nachsendeadresse dem Home Agent im Heimatnetz mit, welcher ihm nun über einen Tunnel alle für ihn bestimmten Pakete des Client weiterleitet ("Sekretärin")
  - Mobiler Node antwortet dem Client direkt ("blaue" Verbindung)
    - ↑ Ineffizientes "Triangel" Routing

Folie 56

---

---

---

---

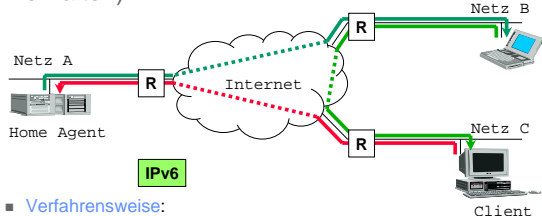
---

---

---

---

## Mobilitäts Unterstützung Mobile IPv6 (Phase 1 entspricht Mobile IPv4 Verhalten)



- **Verfahrensweise:**
  - Mobiler Node erhält (via ND z.B.) eine IPv6 Adresse im Fremdnetz (Nachsendeadresse)
  - teilt Nachsendeadresse dem Home Agent im Heimatnetz mit, welcher ihm nun über einen Tunnel alle für ihn bestimmten Pakete weiterleitet (äq. IPv4 Vorgehen)
  - Mobiler Node antwortet dem Client direkt in einer "Adress Bindungs" Option im **Destination-Option Erweiterungs-Header** seine "neue" Adresse mit, so daß dieser direkt an ihn schicken kann

Folie 57

---

---

---

---

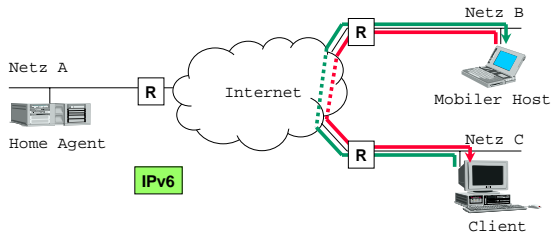
---

---

---

---

## Mobilitäts Unterstützung Mobile IPv6



- Ähnliche Mechanismen wie im IPv4 Bereich mit einigen wichtigen Verbesserungen
- Ziel von Mobile IP: „Heim“-Adresse des mobilen Nodes bleibt immer gültig, auch im Fremdnetz (d.h. auch wenn ich mich in den USA mit meinem Laptop in das Internet „einklinke“, kann ich über die selbe Netzwerkumgebung verfügen, wie zu Hause)

Folie 58

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Basistechnologie

- IPv6 Header
- IPv6 Adreßstruktur und Adreßhierarchie
- IPv6 Autokonfiguration (Plug & Play)
- IPv6 Mobility Support
- IPv6 Sicherheitsmechanismen

Folie 59

---

---

---

---

---

---

---

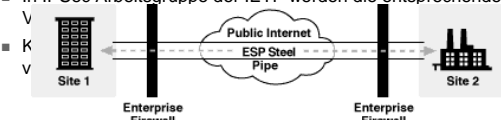
---

---

---

## Das Internet-Protokoll der Nächsten Generation: IPv6 Security Mechanismen

- Dieselben Mechanismen, wie im IPv4 Bereich
  - Authentication      ↑ Gewährleistung Authentizität / Unverfälschtheit
  - Encapsulation Security Payload      ↑ Verschlüsselung der Daten
- Eigenständige Ende-zu-Ende IPv6 Erweiterungsheader für beide Verfahren
- Notwendige Anforderung an Implementierung eines IPv6 Host / Router
- In IPSec Arbeitsgruppe der IETF werden die entsprechenden



Folie 60

---

---

---

---

---

---

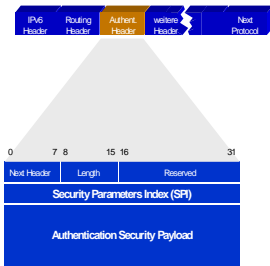
---

---

---

---

## IPv6 Security Mechanismen Authentifizierung



### Authentifizierung

- Sicherstellung, daß Daten vom richtigen Absender stammen
- Datenintegrität ist gewährleistet
- Mechanismus:
  - Ermittlung eines Fingerprints über alle unveränd. Teile des Pakets (z.B. per MD5)
  - Einfügen eines Authentication Headers in jedes IP-Paket
  - Zuordnung Paket zu einer gesicherten Authentication Header - Verbindung per Security Parameter Index (mit Key Management Sender und Empfänger bekanntgegeben)

Folie 61

---

---

---

---

---

---

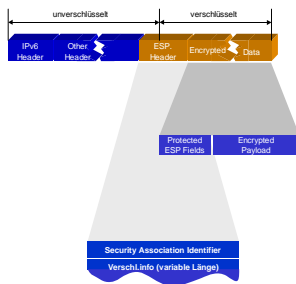
---

---

---

---

## IPv6 Security Mechanismen Verschlüsselung



### Nutzdatenverschlüsselung

- Gewährleistet Integrität und Konfidenz der Daten
- Kann mit Authentifizierung gekoppelt werden
- Mechanismus:
  - Verschlüsseln der zu übertragenden Daten
  - Einfügen eines ESP-Headers
  - Verschlüsselung eines Teiles d. Headers und des gesamten IP-Paketes (*Tunnel-Mode*) oder
  - nur der Nutzdaten ab Layer-4-Header (*Transport-Mode*)

Folie 62

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## IPv6 Basistechnologie IPv6 QoS

Folie 63

---

---

---

---

---

---

---

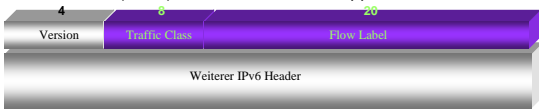
---

---

---

## Das Internet-Protokoll der Nächsten Generation: QoS Support in IPv6 - IntServ

- IPv6 bietet (leicht) verbesserten QoS Support



- Flow Label Feld zum Kennzeichnen aller Datenpakete eines Flows auf Layer 3
  - Flow Label wird vom Sender aus Zufallszahl erzeugt (wegen Hashing)
  - alle Pakete eines Flows haben selbes Label, Sender- und Zieladresse
  - RSVP Router braucht für Flow-Erfassung kein Layer 4 Lookup (z.B. TCP Port etc.)
    - ↑ schnellerer Lookup (keine zig-Millionen IPv6 Header auspacken)
  - vielfältige Verwendung möglich (QoS, Load balancing etc.)
  - "Lifetime" des Flows obliegt dem Signalisierungsmechanismus (RSVP etc.)

Folie 64

---

---

---

---

---

---

---

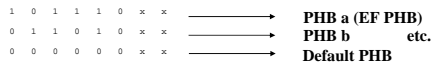
---

---

---

## Das Internet-Protokoll der Nächsten Generation: QoS Support in IPv6 - DiffServ

- Traffic Class Feld des IPv6 Headers
  - Unterscheidung zwischen verschiedenen Prioritäten und Verkehrsklassen
  - Verwendung im "Differentiated Services" (DS) Kontext als DSCP (Behandlung eines Paketes in den Netzwerkknoten entsprechend der Kodierung im DS Code Point, z.B. Best effort transport, Assured forwarding, expedited forwarding)



- wichtigste Entwicklung im Bereich IP-QoS für ISPs in den nächsten Jahren
- momentan ebenfalls unter weiterer Untersuchung

Folie 65

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Work in Progress

- Network Renumbering
- Multihoming
- DNS
- Routing Protokolle

Folie 66

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Work in Progress

### Renumbering

- Addresses come from provider
- Providers change
- Add new prefix to routers; deprecate old one
- Hosts will learn new; stop using old (because of limited lifetime of IPv6 addresses and Prefixes)
- Remove old prefix from routers

Folie 67

---

---

---

---

---

---

---

---

## Work in Progress

### Multihoming

#### Problem statement

- What to do if connected to more than one provider?
- Which address should host use as source?
- Hard problem for Applications to decide which address to use
- One proposal: Hide topology from hosts
- Multi6 WG: Kick-off 50. IETF Minneapolis

Folie 68

---

---

---

---

---

---

---

---

## Work in Progress

### DNS

DNS hat für IPv6 eine noch größere Bedeutung als für IPv4, wegen der nicht mehr manuell handhabbaren Adressen

- BIND 4.9.x, 8 support IPv6 data
- BIND 9 supports IPv6 transport
- New record types for IPv6 introduced (AAAA, Bitstrings, A6)
- PTR as IPv4
- AAAA for full IPv6 address (as A for IPv4)
  - DNS database entries

```
sixpack.berkom.de      A      141.39.66.114
sixpack.ipv6.berkom.de AAAA    3ffe:80a0::100:a00:20ff:fe19:123f
```
- A6 allows hierarchical delegation of bits of prefix
  - very complex to configure and implement
  - shifted to experimental (no standards track)

Folie 69

---

---

---

---

---

---

---

---

## Work in Progress IPv6 Routing Protocols

- RIPng (derived from RIPv2)
  - already implemented and widely used
- OSPFv3 (still in draft)
  - some implementations (Hitachi) but not from the market leaders Cisco and Juniper
- IS-IS (still in draft)
  - First implementations are already their (Cisco)
  - IP2 Plattform of DTAG uses IS-IS as intra-domain routing protocol
- BGP4+ (multiprotocol extensions to BGP)
  - necessary to get connected in the inter-domain area
  - widely implemented and tested

Folie 70

---

---

---

---

---

---

---

---



## Transition von IPv4 zu IPv6

Dual Stack  
Tunneling  
Translation

Folie 71

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Transition Übergang von IPv4 zu IPv6 - Transition

- **Netzmigration zu IPv6 - Sehr komplexes Problem** (Y2K erscheint im Vergleich als sehr simple, wenn auch zeitkritischere Aufgabe)
- Transitionsprozeß wird mehrere Jahre in Anspruch nehmen (Prognose:  $x > 10$ )
- Kostenintensiv (Prognose: Faktor 10 von Y2K)
- Transition erfordert genaue Analyse der Netztopologie, der Verkehrscharakteristiken und der implementierten Dienste
- Für verschiedene Netzwerkszenarien und Netzdienste (Single isolated host, ISP, Kunden-LAN, ...) sind auch unterschiedliche Transitions-Mechanismen erforderlich!  
**Es gilt nicht: „One size fits all“!**
- **Funktionierendes DNS** ist die Grundvoraussetzung für fast alle Transitionsmechanismen (Bind 9 !)

Folie 72

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Transition

### Übergang von IPv4 zu IPv6 - Transition

- Eigene IETF Arbeitsgruppe zu dieser Problematik [NGTRANS](#)
- Erarbeiten verschiedene Herangehensweisen an das Problem von verschiedenen Aspekten:
  - [Netzwerkumgebungen](#)
    - ▲ ISP Environments
      - Encapsulation Tools
        - IPv6 im Core
        - IPv6 im Customer Access
        - IPv6 Exchange
      - ▲ End User Environments
        - IPv6 im Intranet w/o IPv6-fähigem ISP
        - PT, BIS
        - Single Host w/o IPv6-fähigem Provider
        - IP/ICMP Translator
        - Application Layer Gateway
  - [Transition Tools](#)
    - ▲ Tunneling /
      - DTI / 6to4 / 6over4
      - Automatic Tunneling
      - Configured Tunneling
    - ▲ Address Translators
      - SOCKS, NAT-PT, BIS
      - Stateless
    - ▲ Dual Stack Methoden / AIH

---

---

---

---

---

---

---

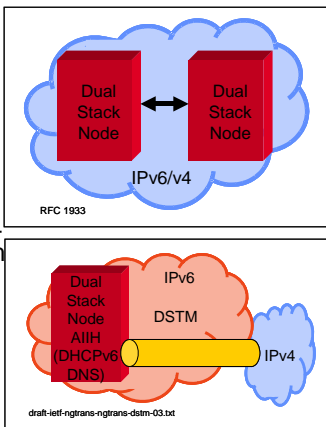
---

---

---

## IPv6 Transition Allgemeines

Dual Stack Mechanismen erlauben eine Nutzung von IPv4 und IPv6 in einem Endgerät



Folie 74

---

---

---

---

---

---

---

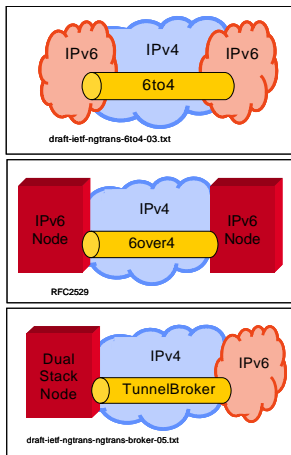
---

---

---

## IPv6 Transition Allgemeines

Tunneling-Mechanismen gestatten Nutzung von IPv6-Diensten über IPv4-only Infrastrukturen



Folie 75

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





## IPv6 Transition

### Tunnel-Mechanismen: Tunnel Broker

#### Funktionsweise Tunnel Broker:

- Per Web-Interface kontaktiert Dual-Stack Host (in der IPv4 Welt) den TB
- Übermittelt an TB:
  - IPv4 Adresse, Nick-Name, Typ des Betriebssystems
- Erhält vom TB:
  - [Script zur Konfiguration](#) eines IPv6-in-IPv4 Tunnels zu einem der Tunnel Server
- TB führt Konfigurationsskript auf entsprechenden Tunnelserver aus und konfiguriert somit den anderen Tunnelendpunkt
- TB trägt Nick-Name mit der zugeordneten IPv6 Adresse im DNS Server ein
- Wenn Dual-Stack Host sein Konfigurationsskript ausführt ist der IPv6 über IPv4 Tunnel erstellt und die gesamte IPv6 Kommunikation erfolgt durch diesen
- **Note:** Applikationen auf Dual-Stack Host müssen IPv6 fähig sein !!

Folie 82

---

---

---

---

---

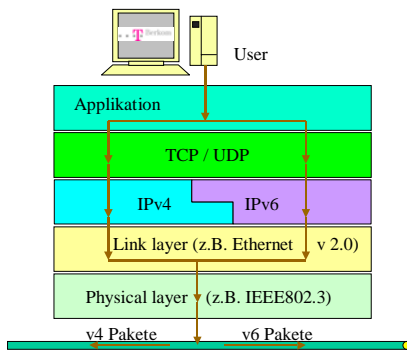
---

---

---

## IPv6 Transition

### Dual-Stack-Mechanismen: Allg. Dual Stack



Folie 83

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Transition

### Dual-Stack-Mechanismen: Dual-Stack

#### Funktionsweise Dual-Stack:

- Einsatz in Endsystemen, die sowohl mit IPv4 wie auch IPv6 Hosts kommunizieren sollen
- Endsystem beinhaltet sowohl IPv4- wie auch IPv6 Protokollfunktionalität
- Applikation entscheidet, welches Netzwerkprotokoll angewendet wird und ermittelt diesbezüglich die IPvX Adressen der Kommunikationsendpunkte mittels entsprechender DNS Anfragen (A oder AAAA Record)
- Applikation bedient die entsprechenden Socket-APIs mit Parametern
- Spezielle Realisierung für MS WinXY-Produkte: [Bump in the Stack \(BIS\)](#)
  - ermöglicht es herkömmlichen IPv4 Applikationen mit IPv6 Endsystemen zu kommunizieren
  - Mischung aus [Dual-Stack](#) Ansatz und [NAT-PT](#) Funktionalität

Folie 84

---

---

---

---

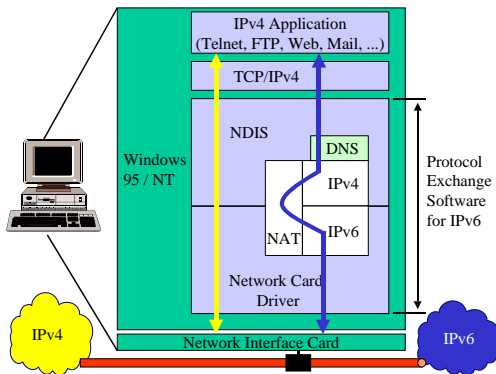
---

---

---

---

## IPv6 Transition Dual-Stack-Mechanismen: BIS



Folie 85

---

---

---

---

---

---

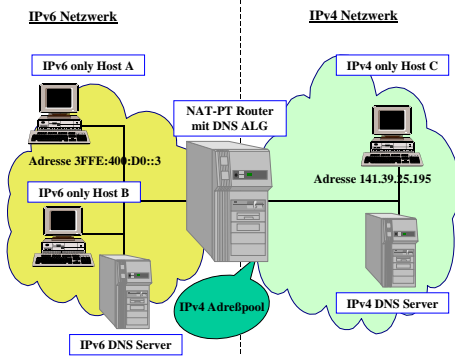
---

---

---

---

## IPv6 Transition Address Translator: NAT / PT



Folie 86

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Transition Address Translator: NAT / PT

### Funktionsweise NAT / PT:

- Kommunikation von Host A (IPv6) mit Host C (IPv4):
  - Applikation erzeugt Query nach AAAA Record für Host C
  - DNS-ALG auf NAT-PT Router übersetzt diese in A Record Query für C an IPv4 DNS Server
  - Response (141.39.25.195) wird vom DNS-ALG in Form eines AAAA Records (PREFIX:141.39.25.195) an A übermittelt
  - Host A schickt nun seine Pakete für Host C mit dieser Adresse an NAT / PT (welcher der einzigste Router für PREFIX:: ist), dieser macht eine IPv6 -> IPv4 Headertranslation (mit einer IPv4 Adresse für A aus seinem Pool), trägt in der internen Adreßabbildungstabelle das Mapping ein und leitet Pakete an Host C weiter
- Kommunikation von Host C (IPv4) mit Host A (IPv6):
  - Analog, nur daß das DNS-ALG schon bei Erhalt einer AAAA Response für Host A aus seinem Pool eine IPv4 Adresse für A reserviert und das Adreßmapping in seinen Tabellen vermerkt

Folie 87

---

---

---

---

---

---

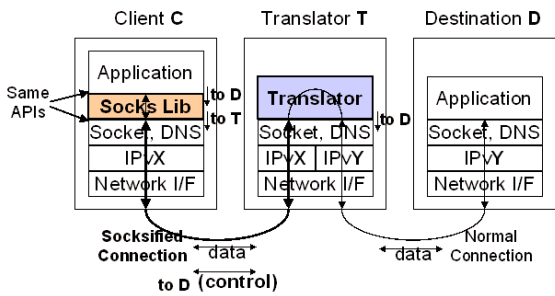
---

---

---

---

IPv6 Transition  
Address Translator: SOCKS



Folie 88

---

---

---

---

---

---

---

---

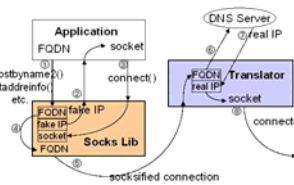
---

---

IPv6 Transition  
Address Translator: SOCKS

Funktionsweise SOCKS:

- TCP/UDP Proxy nach RFC 191:
- Applikation auf C möchte mit D kommunizieren und erhält von SOCKS-Lib auf die `gethostbyname()` Anfrage „fiktiv“ IPvX Adresse für D zurück, die in der SOCKS-Lib in Form einer Adresse-Appletur auf C macht nun ein `connect()` auf diese fiktive Adresse, welches durch die SOCKS-Lib in ein `SOCKS CONNECT()` umgesetzt und an den Translator T zusammen mit dem FQDN für D und der fiktiven IPvX Adresse
- Translator T löst IPvY Adresse von D auf und speichert Zuordnung seinerseits in Tabelle bevor er ein „normales“ IPvY `connect()` zu D auslöst
- D antwortet an T mit IPvY `accept()`; T schickt `SOCKS ACCEPT()`



Folie 89

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



Allgemeine Transitionsstrategien für ISPs

- IP-Routing Netzwerk
- IP-MPLS Netzwerk

Folie 90

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 heute - weltweit

- Existierende IPv6 Research Networks
- IPv6 Production Services
- Host Implementations
- Router Implementations
- Applications

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Research Networks

- Most deployment on R&D networks
- Commercial providers entering picture
- 6Bone was original test-bed
  - www.6bone.net
  - Mostly tunneled
  - Established already in 1996

---

---

---

---

---

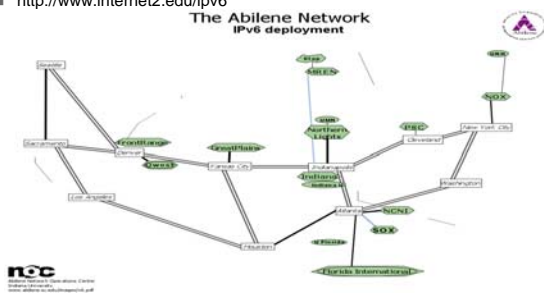
---

---

---

## IPv6 Research Networks Internet2 Backbone - Abilene

- Four Cisco 7204VXRr co-located at GigaPoPs
- 3Com PathBuilders donated to several GigaPoPs
- Full tunnel mesh among routers
- <http://www.internet2.edu/ipv6>



---

---

---

---

---

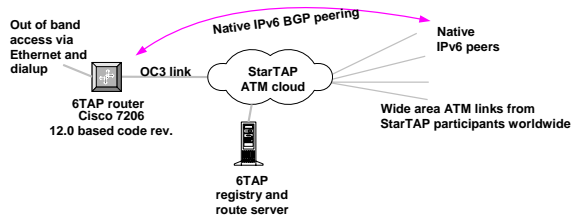
---

---

---

## IPv6 Research Networks 6TAP

- Peering point for international R&D networks
- Co-located at Chicago NAP
- Native connections only
- Tunnel server operated by Viagénie



Folie 94

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## IPv6 heute - weltweit

- Existierende IPv6 Research Networks
- IPv6 Production Services
- Host Implementations
- Router Implementations
- Applications

Folie 95

---

---

---

---

---

---

---

---

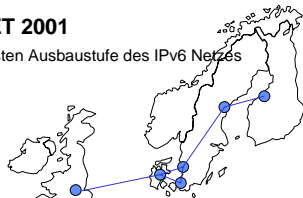
---

---

## IPv6 Production Services Telia / Scanova

### ■ Pressemitteilung zur INET 2001

- Juni 2001 Fertigstellung der ersten Ausbaustufe des IPv6 Netzes
- Connection Points in:
  - Stockholm ■ Malmö
  - Vasa ■ Göteborg
  - London
  - Kopenhagen
- Hitachi Router in paralleler Infrastruktur
- Größtes kommerzielles IPv6 Netzwerk in Europa
- Reiner Transport für dedizierte Festverbindungen mit Zielgruppe:
  - Operator
  - ISPs
  - R&D



Folie 96

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Production Services Zama Networks

### ■ Interkontinentaler IPv6 Transit- und Transport Service

- Zama ausschließlich als Transport Provider aufgestellt im Gegensatz zu Telia, die auch Access anbieten
- Zama's Transportnetzwerk „Next generation Internet“ beruht auf
  - leased lines (Qwest und Global Crossing)
  - Eigene Router in
  - Co-Location Standorten in
    - San Francisco
    - Los Angeles
    - Seattle
    - Hong Kong (geplant)
    - Tokyo
    - Singapore
- Zielgruppe: IPv6 ISPs und international operierende Firmen  
R&D Einrichtungen und Universitäten

Folie 97

---

---

---

---

---

---

---

---

## IPv6 Production Services Zusammenfassung

- Mehrzahl der Dienste beruhen auf
  - Bereitstellen von IPv6 Access Dienstleistungen für
    - Leased Line Kunden (Geschäftskunden)
    - R&D Kunden
  - Bereitstellen von IPv6 Transportdienstleistungen für
    - ISP Kunden
    - International Großkunden und Forschungseinrichtungen
- Nur IJJ bietet darüber hinaus noch Data Centre Services an
- Momentan noch keine „explodierende“ Marktnachfrage und deshalb eher kleine Kundenstämme bei den IPv6 Dienstleistungen der Mitbewerber
- Technische Lösungen in Form von Provider-to-Provider / straight forward
- Ziele der Mitbewerber: Kundenbindung bei Early Adoptors  
IPv6 - zukunftssichere Technologie

Folie 98

---

---

---

---

---

---

---

---



## IPv6 heute - weltweit

- Existierende IPv6 Networks
- IPv6 Production Services
- Host Implementations
- Router Implementations
- Applications

Folie 99

---

---

---

---

---

---

---

---

## Host Implementations

- IPv6 Implementierungen liegen für nahezu jedes Betriebssystem vor
  - ↑ Für Windows NT / 2000 wird IPv6 Developers Code ausgeliefert (Patch)



- Viele der Router-Hersteller haben auch schon IPv6 (Beta) Versionen
  - ↑ Cisco hat seit 1Q2001 IPv6 in den (Produktions) Releases für alle IOS Systeme



Folie 100

---

---

---

---

---

---

---

---

## Host Implementations

Linux (from 2.2 kernel)

- <http://www.bieringer.de/linux/IPv6/IPv6-HOWTO/IPv6-HOWTO.html>

MacOS X (development kit)

- <http://developer.apple.com/>

Solaris 8 (SPARC and x86)

- <http://www.sun.com/solaris/ipv6>

Compaq Tru64 UNIX and OpenVMS (early adopters' kit)

- <http://www.digital.com/info/ipv6/host-implementation.html>

AIX 4.3

- <http://www.austin.ibm.com/software/OS/aix43.html>

HP/UX 11.0 (development kit)

- <http://www.software.hp.com/>

Stacks for BSD

- Kame
  - <http://www.kame.net/>
- INRIA
  - <ftp://ftp.inria.fr/network/ipv6/>

Folie 101

---

---

---

---

---

---

---

---

## Host Implementations

FreeBSD (shipping in 4.0)

- <http://www.freebsd.org/>

NetBSD (in current; to ship with 1.5)

- <http://www.netbsd.org/>

OpenBSD (shipping in 2.7)

- <http://www.openbsd.org/>

Trumpet Winsock 5.0 (Windows 95/98/NT)

- <http://www.trumpet.com.au/ipv6.htm>

Windows 2000 (development kit)

- <http://msdn.microsoft.com/downloads/sdks/platform/tpip6.asp>
- <http://www.research.microsoft.com/msripv6/>

Reasonably current list on

- <http://playground.sun.com/ipng/ipng-implementations.html>

Folie 102

---

---

---

---

---

---

---

---



## IPv6 heute - weltweit

- Existierende IPv6 Networks
- IPv6 Production Services
- Host Implementations
- Router Implementations
- Applications

Folie 103

---

---

---

---

---

---

---

---

## Router Implementations

### Cisco

- Already production release
- IOS 12.2(1)T since March 2001
- Ethernet, FDDI, HDLC, ATM PVC
- RIPng, BGP4+
- IS-IS, Cisco 12000 end-2001
- <http://www.cisco.com/go/ipv6/>

### Nortel

- Supported in BayRS 14.00
- Most if not all interface types
- RIPng, BGP4+ under development
- <http://www.nortelnetworks.com/>

### Juniper

- Planned with Junos 5.2 (end-2001)

### 3Com

- RIPng, BGP4+
- No longer sell router

Folie 104

---

---

---

---

---

---

---

---

## Router Implementations

### Zebra

- Runs on several UNIX flavors
- RIPng, BGP4+, OSPFv3
- Separate process per protocol
- Open source (GNU public license)
- Active development
- <http://www.zebra.org/>

### MRT

- Runs on several UNIX flavors
- RIPng, BGP4+
- Project of Merit Network
- Future plans unclear
- <http://www.mrtd.net/>

Folie 105

---

---

---

---

---

---

---

---



## IPv6 heute - weltweit

- Existierende IPv6 Networks
- IPv6 Production Services
- Host Implementations
- Router Implementations
- Applications

Folie 106

---

---

---

---

---

---

---

---

## Applications

- Number of ports on KAME site
  - telnet, ftp, WWW (Mozilla, Apache)...
- New BIND, Sendmail support IPv6 transport
- BSD Socket API: RFC2553; ID "2292bis"
- Sun "Socket Scrubber"
- Sun "Porting Networking Applications to the IPv6 APIs"
- Much to do ...

Folie 107

---

---

---

---

---

---

---

---

## References

- IETF IPng working group site
  - <http://playground.sun.com/pub/ipng/html/ipng-main.html>
  - Lots of pointers to WG activities, specifications
- IETF NGTRANS working group site
  - <http://www.6bone.net/ngtrans/>

Folie 108

---

---

---

---

---

---

---

---

## Additional Links

### IPv6 Forum

- An industry group
- <http://www.ipv6forum.com>

### Alternate Internet2 IPv6 WG site

- <http://galaxy.unl.edu/v6.htm>

---

---

---

---

---

---

---

---