

## Willkommen bei Kommunikations- und Netztechnik!

Von Kupferkabel, Glasfaser und Mikrowelle über Telefon, Ethernet und TCP zu E-Mail, Webserver und REST.

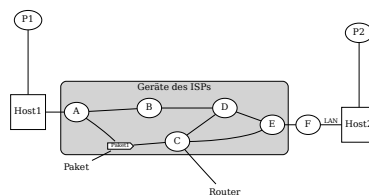


Heute: Wege von A nach B über N oder M in einem Netz. Adressen!

## Nachlieferung: 1-bit-sliding-window

Das soll mich (mal wieder) lehren, nur ausführbaren Code zu zeigen.

## Paketvermittlung: Store-and-Forward



ISP: Internet Service Provider.

## Dienste der Vermittlungsschicht für die Transportschicht

Anforderungen:

- Unabhängig von Router-Technologie
- Transportschicht von Routern abgeschirmt
  - Art, Anzahl, Topologie
- Netzadressen einheitlich nummeriert

Viel Freiheit ⇒ 2 Lager!

## Nachlieferung: 1 bit Sliding Window: data

```
import : srfi :9 records
define-record-type <frame>
  make-frame seq ack packet
  . frame?
  seq frame-seq frame-seq-set!
  ack frame-ack frame-ack-set!
  packet frame-packet frame-packet-set!

define : flip-bit bit
  if : zero? bit
    . 1 0

define-syntax-rule : flip-bit! rec getter setter
  setter rec : flip-bit : getter rec

define : frame-ack-flip! frame
  flip-bit! frame frame-ack frame-ack-set!
define : frame-seq-flip! frame
```

## Nachlieferung: 1 bit Sliding Window: tooling

```
define : from-physical-layer ;; fake random frame
  make-frame (random 2) (random 2) #f
;; stubs
define (from-network-layer) #f ;; ; fake packet (data)
define (to-network-layer packet) #f
define (to-physical-layer frame) #f
define (start-timer bit) #f
define (stop-timer bit) #f
define (wait-for-event) #f
define (is-frame-arrived? event) #t
```

## Dienst-Arten

Internet: Nur Pakete

- SEND PACKET und RECEIVE PACKET
- Robust
- Ende-zu-Ende
- 40 Jahre Erfahrung mit Rechnernetzen

Telcos: Verbindungen

- Dienstgüte
- Interaktiver Echtzeitverkehr
- Dienste:
  - VLAN
  - MPLS (MultiProtocol Label Switching),
- 100 Jahre Erfahrung mit Telefonnetzen

## Implementierung

Paketorientiert

- Einzelne Pakete (Datagramme, vgl. Telegramm)
- Unabhängig voneinander
- Kein Einrichtungs-Aufwand
- Jedes Paket die volle Adresse

Verbindungsorientiert

- Pfad von Quelle zu Ziel einrichten
- Virtuelle Verbindung (VC: Virtual Circuit)
- Pakete enthalten VC-Nummer

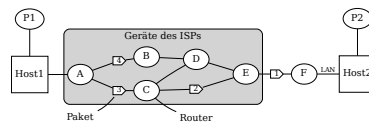
## Nachlieferung: 1 bit Sliding Window: implementation

```
define : 1-bit-sliding-window
  let loop : : event : wait-for-event
  when : is-frame-arrived? event
  let*
  : received : from-physical-layer
  seq : frame-seq received
  ack : frame-ack received
  when : = seq : flip-bit : frame-ack to-send
  to-network-layer : frame-packet received
  frame-ack-flip! to-send
  format #t "expected frame received: -a, ack it: -a\n" reciv
  when : = ack : frame-seq to-send
  stop-timer ack
  frame-packet-set! to-send : from-network-layer
  frame-seq-flip! to-send
  format #t "our frame acknowledged by -a, send next: -a\n" rec
  to-physical-layer to-send
  start-timer : frame-seq to-send
```

## Zusammenfassung MAC I

- ALOHA, pure vs. slotted
  - Warum ist slotted ALOHA doppelt so effizient?
- CSMA: sendet sobald frei; wenn Konflikt warte eine zufällige Zeit
- Länge der Contention Periode =  $2\tau$  erklären können
- Beispiel für Kollisionsfreie Protokolle (Bitmap, Token, Countdown)
- Adaptive Tree Walk Protocol
- Switches: cut through vs. store and forward (Längenbyte!)
- Backward Learning in Switches
- Spanning Tree für Switches

## Datagrammnetz



A (anfang)	A (später)	Tabelle C	Tabelle E
A -	A -	A A	A C
B B	B B	B A	B D
C C	C C	C -	C C
D B	D B	D E	D D
E C	E B	E E	E -
F C	F B	F E	F F

## Verbindungsorientiertes Netz

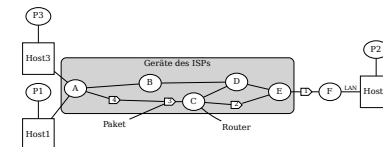


Tabelle von A	Tabelle von C	Tabelle von E
H1 1 → C 1	A 1 → E 1	C 1 → F 1
H3 1 → C 2*	A 2 → E 2	C 2 → F 2

\*: H31→C2: Label Switching. MPLS: 20 Bit. ISPs nach Datenmenge / Güte.

## Ablauf heute

- Konzepte
  - Routing-Algorithmen
  - Überlastüberwachung
  - Dienstgüte
  - Internetworking

--- PAUSE ---

- IPv4 und IPv6

## Ziele heute I

- Routing: Quell-Senken Bäume (spanning trees)
- VC (virtuelle Verbindung) vs. Paket
- Fluten + Optimierung
- Routing-Tabellen
- Warteschlangen verstehen
- Drosseln
- IPv4 vs. IPv6

## Vergleich VC-Netze vs. Datagrammnetze

Kriterium	Datagramm	VC
Aufbau	-	Erforderlich
Adressierung	Ziel- und Quell-Adresse*	VC-Nummer
Zustand	-	Ein Eintrag pro VC alle gleich
Routing	unabhängig	alle gleich
Router-Ausfall	Paketverlust	Verbindungsverlust
Güte / Last	schwierig	Ressourcen reservieren

\*: IPv6-Adresse braucht 128 Bit (IPv4 32) — VC-Label bei MPLS nur 20 Bit.

## Zusammenfassung

Pakete

Alle unabhängig brauchen weniger Zustand Robuster

Verbindungen

Gleiche Route brauchen weniger Bandbreite können Dienstgüte reservieren

<https://cryptpad.digitalcourage.de/code/#/2/code/edit/HxTmyrZrKJERpZbHsKPaGHaN/>

Routing Tabelle: Ein Eintrag für jeden Router im Netz

- Ausgangsleitung
- Geschätzte Entfernung (→ was ist kurz?)

Entfernung:

- Direkte Nachbarn: ECHO-Paket.
- Nachbarn schicken ihre Tabellen.
- Pro Router besten Nachbarn + Kosten merken.

Nachteil: Langsame Information über Ausfall

Ersetzen seit 1979 Distanzvektoralgorithmen.

Andere Namen: IS-IS und OSPF.

Fünf Schritte:

- Nachbarn ermitteln
- Kosten zu Nachbarn ermitteln
- Informationen über die Nachbarn an ALLE schicken
- Wissen von ALLEN empfangen
- Kürzeste Pfade berechnen

Vertrauen der Router untereinander nötig!

„Welche Ausgabeleitung für welches Paket?“

- Datagramm: Für jedes Paket neu entscheiden
- Verbindung: Session-Routing

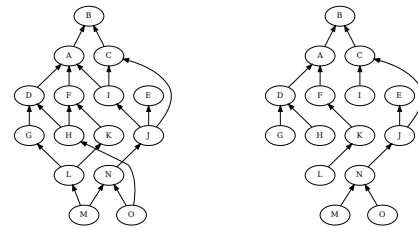
- **korrekt, einfach** klar
- **robust** Ausfälle verkraften
- **stabil** konvergiert in endlicher Zeit
- **fair, effizient** oft im Widerspruch

- Identität
- Sequenz-Nummer (lang genug)
- Alter (Lebensdauer, z.B. 10s)
- Nachbarn mit Kosten

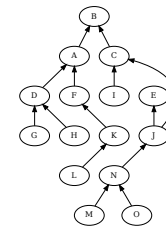
- Optimierung: Regionen werden zusammengefasst.
- In IP-Adressen mit Netzmasken realisiert.
- Nicht immer die optimalen Pfade, aber berechenbar.

I→J→K optimal ⇒ J→K optimal ⇒ Quelle-Senke-Baum (sink-tree)

- Maximale Bandbreite?
- Maximale Fairness?
- Wieviel für X/Y?



- Fluten
- Reverse Path Forwarding (RPF): Verteile an alle, was von der optimalen Route kommt.
- Sender verwenden Spannbaum (z.B. Quelle-Senke-Baum = sink-tree): Nur auf die Routen schicken, auf denen RPF es annimmt.



- Multicast: Gestutzte Bäume, enthalten nur Pfade zu Zielen
- Anycast: Bäume in denen mehrere Empfänger als einer betrachtet werden, meist um Anfragen zu schicken; z.B. "von irgendeinem Zeitserver".

- Entfernung
- Übertragungszeit
- Bandbreite
- Durchschnittsverkehr
- Übertragungskosten
- ...

- Einfachster Algorithmus
- Hops to Live
- Schleifen verhindern: Sequenznummern pro Quelle
- Robust
- Extrem Teuer

Die Erste Version von Gnutella (0.4) verwendete Fluten. 0.6 strukturierte sich, um auf 50 Millionen Knoten zu skalieren.

- Heimagent (home agent)
- Mobiler Host teilt dem Heimagent die Care-of-Adresse mit
- Heimagent wird zuerst kontaktiert
- Gibt die Care-of-Adresse weiter

- Ein eigenes Thema, hoffentlich nächstes Jahr in Verteilten Systemen :-)
- Fluten geht immer

## Zusammenfassung

- Fairness vs. Effizienz
- Optimale Verbindungen als Baum (sink tree)
- Distanzvektoralgorithmus erfährt spät von Ausfällen
- Link-State-Routing verteilt vollständige Informationen
- Fluten geht immer (aber selten gut)
  - Broadcast/Multicast/Anycast reduzieren die Pfade beim Fluten

Mobiles Routing: Care-of-Adresse von Heimagent verwaltet.

## ONLINE-PAUSE

Sammeln: Wünscht euch Anwendungen zum Besprechen für die letzten beiden Vorlesungen

## Überlastkontrolle: Der Warteschlangen-Algorithmus

$$T = \frac{1}{\mu} \times \frac{1}{1-\rho} \quad (1)$$

$T$  Verzögerung der Pakete (Zeit in Warteschlange)  
 $\mu$  unbelastete Paketrate  
 $\rho$  Auslastung

Bei 50% Last ist die Wahrscheinlichkeit 50%, dass ich bei Anknunft eines Paketes gerade an einem anderen arbeite.

Bei 95% Last, ist die Verzögerung durchschnittlich die 20-fache Verarbeitungsdauer eines Paketes.

## Prinzipien der Überlastüberwachung

Von langsam zu schnell:

**Provisioning** Neue Geräte kaufen

**Verkehrabhängiges Routing** Nach Bandbreite und Übertragungsverzögerung. Last verursacht Oszillationen.

**Zugangskontrolle** Keine E-Mail zur WM

**Drosselung** Rückmeldung der Überlast

**Lastabwurf** Pakete verwerfen.

## Zugangssteuerung

- Virtuelle Verbindungen ablehnen.
- Einfach: Statische Anteile. Ineffizient durch variable Nutzung.
- Token Bucket: Durchschnittliche Datenrate + begrenzte Burst-Größe.
- Virtuelle Verbindungen über unbelastete Pfade
- Oft mit Dienstgüte: Bevorzugten Diensten

*Weswegen Sie bei manchen Providern keine E-Mail schicken können, wenn Ihre Nachbarn alle Fernsehen.*

## Zugangssteuerung: Token Bucket

Vertraglich vereinbarte Nutzung: Burst + Durchschnittsrate.

Virtueller Zusatzpuffer, um den Knoten die vereinbarte Paketzahl pro Sekunde überschreiten dürfen, ohne aus dem Netz zu fliegen.

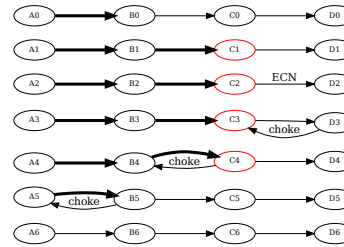
Wird auch zur Definition von Dienstgüte verwendet.

## Drosseln

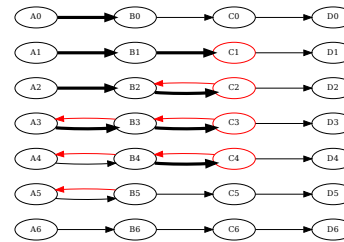
- Überlastung vorhersehen: Verbindungsauslastung, Pufferfüllstand, Paketverlust
- Moving Average glättet Bursts.
- Ab Schwellwert:
  - ECN (Explicit Congestion Notification): Zwei Bits in Paket zeigen dem Empfänger Überlast.
  - Empfänger schickt **Choke**-Antwort an Sender
  - Hop-by-hop Rückstau: Knoten auf Zwischenstationen drosseln bereits

*Grundprinzip aus p2p-Entwicklung: Alle Warteschlangen sind immer voll.*

## Drosseln, Beispiel



## Lastabwurf: RED, Beispiel



## Dienstgüte

Unterschiedliche Anforderungen:

- Latenz / Jitter: Interaktives
- Bandbreite: Alles andere

Schlüsselwörter:

- Integrated Service: Reservieren von Verbindungen
- Differentiated Service: Klassenbasiert (z.B. Expresspakete)

*Priorisierung oft im Streit mit Netzneutralität.*

## Scheduling

Round Robin:

- Ein Paket aus jeder Quelle
- Bevorzugt große Pakete

Fair Queueing:

- Das Paket zuerst, das zuerst fertig gewesen wäre, wenn es bei seiner Ankunftszeit gestartet wäre.
- Annäherung an Multiplexing auf Byte-Ebene.
- Mehr Rechenaufwand, auf sehr schnellen Leitungen zu viel.

*Es gibt noch viele weitere.*

## Lastabwurf

■ Welches Paket behalten?

- Lieber alt als neu (Wein): Dateiübertragungen (Neuübertragung)
- Lieber neu als alt (Milch): Echtzeit-Streaming (Verlust OK)
- Paketart (z.B. keine key-frames von Videos)
- Früherkennung nach Zufallsprinzip (RED: Random Early Detection)
  - Nur Verlust ist ein zuverlässiger Indikator für Überlast
  - Zufall: Wahrscheinlich vom schnellsten Sender.
  - Wie ein Choke-Paket, nur ohne Paket.

## Zusammenfassung

- Provisioning: Mehr Hardware kaufen
- Route nach Bandbreite und Verzögerung
- Zugangsbegrenzung durch definiertes Verhalten (Token Bucket)
- Drosseln durch Rückmeldung (ECN, Choke)
- Lastabwurf mit Paketauswahl, zufälliges Verwerfen als Indikator für Überlast

## Beschreibung von Dienstgüte

**Token Bucket** was versprochen wird, was genutzt werden darf  
**Prioritäten** Forderung: für stärkere Annäherung bestimmter Nutzer an Minimal-Latenz und Maximal-Bandbreite.  
**Flusspezifikation** Token-Bucket-Rate, Token-Bucket-Größe, Spitzendatenrate, Minimale Paketgröße, Maximale Paketgröße.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Beispiel nach RFC 2210 und 2211.

## Zusammenfassung

- Unterschiedliche Anforderungen. V.a. Latenz vs. Bandbreite.
- Beschreibung von Versprechen und erlaubter Nutzung
- Scheduling realisiert die Dienstgüte

## Internetworking

**Repeater, Hub** Analog, verschieben Bits

**Bridge, Switch** Sicherungsschicht, verbinden ähnliche Netze (z.B. 100 MBit Ethernet mit 10 MBit Ethernet)

**Router** Pakete aufteilen (fragmentieren), Header tauschen, Pakete verpacken (tunneling).

Dr. Arne Babenhausen  
 Netztechnik 4: Die Vermittlungsschicht

Einstieg Konzepte Routing Überlast Dienstgüte Internetworking IPv4 und IPv6 Zusammenfassung

## Internetwork-Routing

- Autonome Systeme
- Interne Informationen verstecken
- Geregelt über Geschäftsvereinbarungen

Dr. Arne Babenhausen  
 Netztechnik 4: Die Vermittlungsschicht

Einstieg Konzepte Routing Überlast Dienstgüte Internetworking IPv4 und IPv6 Zusammenfassung

## Internetsteuerprotokolle (Praxis)

**ICMP** (Internet Control Message Protocol) Zustandsinfos an den Sender, z.B. Ziel unerreichbar, oder ECHO

**ARP** (Address Resolution Protocol) „Wem gehört diese IP?“

**MPLS** (Label Switching) Verbindungs-Infos in Zwischen-Netzen vor dem IP-Header: Label + Quality of Service

**OSPF** (Open Shortest Path First) Link-State-Routing innerhalb von ISP-Netzen. Alternativ IS-IS.

**BGP** (Border Gateway Protocol) Routing Zwischen ISPs (u.ä.), mit durchsetzung von Regeln, z.B. geschäftliche

**IP** Internet Protocol

**IPv4** 32 Bit Adressen, fester 20 Byte Anfang, \ Options 0-40 Byte.

**IPv6** 128 Bit Adressen, fester 40 Byte Anfang, \ Next Headerfeld

Dr. Arne Babenhausen  
 Netztechnik 4: Die Vermittlungsschicht

Einstieg Konzepte Routing Überlast Dienstgüte Internetworking IPv4 und IPv6 Zusammenfassung

Dr. Arne Babenhausen  
 Netztechnik 4: Die Vermittlungsschicht

Einstieg Konzepte Routing Überlast Dienstgüte Internetworking IPv4 und IPv6 Zusammenfassung

## IPv4

Version	IHL	Diff. Serv.	Total Length		
Identification	x	DF	MF	Fragment Offset	
Time to Live	Protocol	Header Checksum			
Source Address					
Destination Address					
Options: 0 bis 10 Zeilen					

Version 4

IHL Header-Länge in Zeilen, 5-15 (4 bit).

Differentiated Services ■ Expedited Forwarding (Expresspaket)

- Assured Forwarding (nicht fallen lassen)
- ECN (Überlastung erfahren?)

Total length Header + Daten, bis zu 65535 Byte

Dr. Arne Babenhausen  
 Netztechnik 4: Die Vermittlungsschicht

Einstieg Konzepte Routing Überlast Dienstgüte Internetworking IPv4 und IPv6 Zusammenfassung

## IPv4, Fragmentierungs-Felder

Version	IHL	Diff. Serv.	Total Length		
Identification	x	DF	MF	Fragment Offset	
Time to Live	Protocol	Header Checksum			
Source Address					
Destination Address					
Options: 0 bis 10 Zeilen					

Identification Fragment-ID

x Ungenutztes Bit

DF Don't Fragment (= Fehler statt Fragmentieren)

MF More Fragments (kommen)

Fragment Offset Index in 8-Byte Blöcken. 13 Bit -f 8192 Fragmente.

Dr. Arne Babenhausen  
 Netztechnik 4: Die Vermittlungsschicht

Einstieg Konzepte Routing Überlast Dienstgüte Internetworking IPv4 und IPv6 Zusammenfassung

## IPv4, weitere Felder

Version	IHL	Diff. Serv.	Total Length		
Identification			DF	MF	Fragment Offset
Time to Live	Protocol	Header Checksum			
Source Address					
Destination Address					
Options: 0 bis 10 Zeilen					

Time to Live (TTL) Lebensdauer in Hops, ursprünglich mal Sekunden

Protocol Protokoll-Nummer, z.B. TCP oder UDP (RFC 1700, iana.org)

Header Checksum Bringt die Einerkomplement-Summe des Headers auf 0, bei jeder Übermittlung neu berechnet

Source Address 32 Bit IP-Adresse

Destination Address 32 Bit IP-Adresse

Dr. Arne Babenhausen  
 Netztechnik 4: Die Vermittlungsschicht

Einstieg Konzepte Routing Überlast Dienstgüte Internetworking IPv4 und IPv6 Zusammenfassung

## IPv4 Optionen

Bis zu 40 Byte für Optionen:

**Security** ignoriert

**Strict Source Routing** Explizite Route in IP-Adressen (debug)

**Loose Source Routing** Router, die getroffen werden müssen (debug)

**Record Route** Router hängen ihre Adressen an

**Timestamp** IP-Adressen + Zeitstempel

heutzutage nur noch schlecht unterstützt.

Dr. Arne Babenhausen  
 Netztechnik 4: Die Vermittlungsschicht

Einstieg Konzepte Routing Überlast Dienstgüte Internetworking IPv4 und IPv6 Zusammenfassung

## IPv4-Adressen

Hierarchisch: Netz-Präfix + Host-ID

Abchnitt	Präfix = L Bit (z.B. 24)	32 - L Bit
Netz		Host
Netzmaske: 111111111111111111111111 00000000		

Netz-Adresse: Netzmaske UND IP-Adresse

Router braucht nur den Netz-Abschnitt. Angabe der Adresse mit Präfix-Länge (Anzahl von Einsen).

Dr. Arne Babenhausen  
 Netztechnik 4: Die Vermittlungsschicht

Einstieg Konzepte Routing Überlast Dienstgüte Internetworking IPv4 und IPv6 Zusammenfassung

## IPv4-Adresse, Beispiel

192.168.2.105/24

- Netzmaske: /24 = 255.255.255.0
- Netz = 192.168.2.0
- Host-Teil: 105

255.255.255.255 geht an alle Hosts im Netz.

Subnetze: Zusätzliche Netzmasken im Host-Teil für lokale Router (nach Außen unsichtbar).

## CIDR (classless inter-domain routing)

Automatische Zusammenfassung von Netzmasken.

Früher verwendete Klassen:

- A 0... 128 Netze mit 16 Millionen Hosts
- B 10... 163854 Netze mit 65536 Hosts
- C 110... 2 Millionen Netze mit 256 Hosts
- D 1110... Multicast
- E 1111... reserviert

B ist für die meisten Unternehmen zu groß, C zu klein. CIDR: Dynamische Klassen.

Dr. Arne Babenhausen  
 Netztechnik 4: Die Vermittlungsschicht

Einstieg Konzepte Routing Überlast Dienstgüte Internetworking IPv4 und IPv6 Zusammenfassung

## NAT

Router ersetzt IP und Port von Paketen, damit mehrere Rechner nach außen mit der gleichen IP auftreten können.

- Verwaltet Zustand der Verbindungen
- Interne IP ohne Hilfer vom Router nicht von Außen auffindbar. Ein Fluch für Peer-to-Peer-Anwendungen.
- Bricht die Abstraktion (Router sollte nichts von Ports wissen müssen)
- IP-Adressen werden auch innerhalb von Protokollen verwendet

Dr. Arne Babenhausen  
 Netztechnik 4: Die Vermittlungsschicht

Einstieg Konzepte Routing Überlast Dienstgüte Internetworking IPv4 und IPv6 Zusammenfassung

## IPv6

Am 1. Februar 2011 vergab IANA die letzten beiden freien IPv4-Adressblöcke 39/8 und 106/8 an das Asia-Pacific Network Information Centre APNIC. Am 3. Februar 2011 starteten IANA und ICANN daraufhin die sog. „Exhaustion Phase“, in der je einer der letzten fünf Adressblöcke für die RIRs reserviert wurde. Damit ist der IPv4-Adresspool der internationalen Vergabestelle IANA ausgeschöpft.

- [https://de.wikipedia.org/wiki/Internet\\_Protocol](https://de.wikipedia.org/wiki/Internet_Protocol)
- 2019-10: Etwa 40% der Hosts haben IPv6, Indien 58%<sup>2</sup> 2020-10: Etwa 31% der Google-Nutzer haben IPv6<sup>3</sup>, Indien 62%<sup>2</sup>
- <sup>2</sup><https://www.akamai.com/de/de/about/our-thinking/state-of-the-internet-report/state-of-the-internet-ipv6-adoption-visualization.jsp>
- <sup>3</sup><https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html#tab=ipv6-adoption>

Dr. Arne Babenhausen  
 Netztechnik 4: Die Vermittlungsschicht

Einstieg Konzepte Routing Überlast Dienstgüte Internetworking IPv4 und IPv6 Zusammenfassung

## IPv6 Ziele

- Milliarden von Hosts
- Kleinere Routing-Tabellen
- Einfacheres Protokoll für schnellere Router
- Authentifizierung und Datenschutz
- Diensttypen, v.a. Echtzeitdaten
- Umfang von Multicasting angeben
- Mobilität ohne Address-Änderung
- Koexistenz mit IPv4

Dr. Arne Babenhausen  
 Netztechnik 4: Die Vermittlungsschicht

Einstieg Konzepte Routing Überlast Dienstgüte Internetworking IPv4 und IPv6 Zusammenfassung

## IPv6 Header

Version	differentiated services	flow label
payload length	next header	hop limit
Source Address		
Source Address		
Source Address		
Destination Address		
Destination Address		
Destination Address		

Dr. Arne Babenhausen  
 Netztechnik 4: Die Vermittlungsschicht

Einstieg Konzepte Routing Überlast Dienstgüte Internetworking IPv4 und IPv6 Zusammenfassung

## IPv6 header-start

Version	differentiated services	flow label
payload length	next header	hop limit

Version 6

Differentiated Services 8 Bit, wie in IPv4

Flow Label ID für Pseudoverbindungen, bis zu 2<sup>20</sup> unterscheidbare Datenflüsse zwischen Quelle und Ziel

Payload Length Länge ohne Header => Maximal 65535 Byte pro Paket.

Next Header Typ des nächsten Headers oder Art des Transportprotokolls (z.B. TCP oder UDP).

Hop Limit Hops to Live

<https://tools.ietf.org/html/rfc2460>

Dr. Arne Babenhausen  
 Netztechnik 4: Die Vermittlungsschicht

Einstieg Konzepte Routing Überlast Dienstgüte Internetworking IPv4 und IPv6 Zusammenfassung

### IPv6 Adressen

- 8 Blöcke mit je 4 Hexadezimalzeichen. Getrennt mit Doppelpunkt
- Der längste Block mit Nullen kann weglassen werden, im Zweifel der erste.
- Die letzten 4 Blöcke Gerätespezifisch, z.B. die MAC-Adresse

Gültige Adressen:

8000:0000:0000:0000:0123:4567:89AB:CDEF

8000::0123:4567:89AB:CDEF

Auch IPv4:

::192.31.20.46 - Im Browser: http://[::192.31.20.46]:8083

### Multicast

ff00::/8 + 4 bit scope (z.B. 0 = von IANA<sup>4</sup>), Gültigkeitsbereich (1 interfacelocal → e global).

Beispiele:

ff01::1 ff02::1 Alle → Broadcast (01: interface-local, 02: link-local)

ff01::2, ff02::2, ff05::2 Alle Router (01: interface, 02: link, 05: site)

<sup>4</sup>IANA: Internet Assigned Numbers Authority

### Selbststudium diese Woche I

- Simulieren Sie eine Warteschlange mit 3 Quellen und zufällig verteilten Paketgrößen. Plotten Sie die durchschnittliche Zeit bis zur Übertragung als Funktion der Paketgröße. Nutzen Sie dafür Round Robin und Fair Queueing.

### Hamming-Beispiele

- Der vorherige 11.7: <https://hg.sr.ht/~arnebab/wisp/browse/examples/hamming.w?rev=ad2b1867648a>
- Generisch, ineffizient, mit Bugs: <https://hg.sr.ht/~arnebab/wisp/browse/examples/hamming-file.w?rev=ad2b1867648a>
- 7,4 Hamming Code-Golf: <https://codegolf.stackexchange.com/questions/45684/correct-errors-using-hamming7-4>

### Optionale Header

**Hop-By-Hop Options** Optionen, für alle IPv6-Geräte, die das Paket durchläuft

**Routing** Pfad des Paketes durch das Netzwerk beeinflussen, z.B. für Mobile

**Fragment** Und es gibt es doch :-)

**Authentication Header (AH)** Optionen für Vertraulichkeit, IPsec

**Encapsulating Security Payload (ESP)** Daten zur Verschlüsselung des Paketes, IPsec

**Destination Options** Optionen für den Zielrechner

**Mobility** Für Mobile IPv6

### Ziele erfüllt?

Hosts  $7 \times 10^{23}$  Adressen pro Quadratmeter. Pessimistisch geschätzt: Unterstützt 1000 Geräte pro Quadratmeter.

Routing-Tabellen

Einfacheres Protokoll Fragmentierung und Checksum entfernt, Optionen können Übersprungen werden

Authentifizierung und Datenschutz Durch Erweiterungsheader, aber keine Verschlüsselung

Diensttypen Differentiated Services Header.

Multicasting Flow Label für Pseudoverbindungen

Mobilität *Keine Einigung* → *Heimagent, RFC 6275*.

Koexistenz mit IPv4

### Verweise I

Bilder:

### Zusammenfassung

IPv4

- 32 Bit Adressen
- Variabler Header: 20 - 60 Byte
- Checksum
- Fragmentierung

IPv6

- 128 Bit Adressen
- Fester Header: 40 Byte
- Next Header für Optionen
- Flow Label für Pseudoverbindungen

### Fragen für die Prüfung?

Ideensammlung:

- Unterschied IPv4 vs. IPv6:  $2^{23}$  Adressen vs.  $2^{128}$  Adressen, z.B. „ist das IPv4 oder IPv6?“
- Maßnahmen gegen Überlast:
  - Provisioning: Mehr Hardware kaufen
  - Route nach Bandbreite und Verzögerung
  - Zugangsbegrenzung (Token Bucket)
  - Drosseln (ECN, Choke)
  - Lastabwurf, zufälliges Verwerfen
- Token Bucket mit Burst und Bandbreite beschreiben
- Round-Robin und Fair Queueing: Abarbeitungsreihenfolge von Paketen bestimmen, z.B. für 2 Quellen von denen zusammen 3 Pakete kommen.

### Zusammenfassung

- 
- 
- 
- 
- 
- 

Viel Erfolg auf dem Weg durch die zweite Hälfte des Semesters!