

# Zusammenfassung Computernetzwerke und verteilte Systeme



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Alex Praus, Tobi Kratz  
8. Februar 2021

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Quick Tour</b>	<b>2</b>
1.1 Making two devices communicate	2
1.2 Connecting many computers	2
1.3 Organizing the mess - and connecting 'Alien' computers	3
1.3.1 OSI	3
1.3.2 5 Layer of the Internet	4
1.3.3 network types	4
<b>2 Routing</b>	<b>5</b>
2.1 introduction	5
2.1.1 Forwarding	5
2.1.2 Routing	5
2.2 Routing Algorithms	6
2.2.1 Examples	6
2.3 Distance Vector Routing	7
2.3.1 Count to Infinity Problem	7
2.4 Link-State Routing	8
2.5 Hierarchical Routing	8
2.5.1 About BGP and Internet Routing	8
2.6 Mobile Routing	9
2.6.1 DSDV	10
2.6.2 DSR	10
2.7 Overlay Routing	10
<b>3 IP &amp; Internetworking</b>	<b>10</b>
3.1 IP Header	11
3.2 Addressing	11
3.2.1 Naming and DNS	11
3.2.2 IPv4 Addresses	12
3.2.3 NAT	12
3.2.4 ARP	13
3.3 IPv6	13
<b>4 Transport Layer</b>	<b>14</b>
<b>5 Queueing Theory</b>	<b>14</b>
<b>6 Referenzen</b>	<b>14</b>
6.1 Quicktour	14
6.2 Routing	15
6.3 IP & Addressing	15

---

## 1 Quick Tour

---

### 1.1 Making two devices communicate

---

Verschiedene Möglichkeiten, um Kommunikation herzustellen: direkte physische Verbindung. Hier werden Daten als Bits übertragen. Eine 1 könnte als steigende Taktflanke und eine 0 als fallende dargestellt werden, es gibt jedoch viele Probleme bei der Implementation (00, 11, wechselnde Taktfrequenz...).

**low level properties of communication** Es gibt verschiedene Werte, die bei low-level communication wichtig sind:

- Delay (Latenz)  $d = \text{distance} / \text{Propagation speed } v$ . ( $v$  ist im Vakuum  $= c$ , in Kupfer etwa  $\frac{2}{3} c$ )
- Data rate  $r$  (Datenrate) = Data size / data rate (Bsp. bits/second).  
Wichtig ist hier, dass nicht die Geschwindigkeit gemeint ist, mit der die Daten transportiert werden (siehe  $v$ ), sondern in welcher Rate die Bits auf die Leitung gelegt werden.

Wenn der Sender eine Daten sendet, werden diese nicht auf Sender Seite gespeichert, sondern lediglich beim Empfänger. Allererhöchsten sind die Daten während der Übertragung im Kabel gespeichert.

Beispiel LaTeXberechnung (delay & data rate): Wir senden 1250 Bytes ( $10^4 b$ ) über 6 Meter mit einer Geschwindigkeit von 10 Mbps ( $10^7 \frac{b}{s}$ ). Der Delay  $d$  beträgt dabei  $d = \frac{6m}{c} = \frac{6m}{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}} = 2 \cdot 10^{-8} s = 20ns$ . Die Data rate beträgt  $r = \frac{10^4 b}{10^7 \frac{b}{s}} = 10^{-3} s = 1ms$ .

**Types of physical communication** Die Typen lassen sich in 3 Fälle aufteilen:

- Simplex: Eine Seite kann nur senden, die andere nur empfangen (one-way). Empfänger lassen sich jedoch beliebig skalieren.
- Half Duplex: Beide Seiten wechseln sich ab mit senden und empfangen (vgl. Telefonat/Gespräch).
- Duplex: Beide Seiten können senden wie und wann sie lustig sind (vgl. Streitgespräch).

Während Simplex und Half Duplex einfach realisierbar sind, ist (Full) Duplex eine technische Herausforderung.

**Realizing Half Duplex** Denkbar wären 2 Kabel, eins je Host, das wäre jedoch eine Verschwendung, da diese Kabel nie gleichzeitig genutzt werden würden. Es gibt zwei Ansätze: Time division duplex (TDD) und on-demand duplex. Beim TDD hat jeder Host eine feste Zeit  $T$  zum senden, und es wird zwangsläufig abgewechselt. Beim on-demand duplex gibt jeder Host die Länge der nächsten Bit Sequenz am Anfang direkt bekannt (pre-announce).

**Realizing Full Duplex** Hier wären 2 Kabel eher anwendbar, bedeuten aber den doppelten Aufwand. Auf kurzer Distanz kann jedoch auch Full Duplex mit einem Kabel realisiert werden, in dem jeder Host eine leicht andere Frequenz benutzt (z.B. bei WiFi). Auch TDD ist umsetzbar. Während A sendet, speichert B die zu sendenden Daten. Nach  $T$  sendet B dann den Stack während A speichert. Das ist jedoch nicht analog umsetzbar, da z.B. Sprachdaten sich nicht in Portionen aufteilen lassen.

---

### 1.2 Connecting many computers

---

Jeden Computer direkt mit jedem anderen zu verbinden wäre zwar möglich, skaliert jedoch eher so semi (<https://www.reddit.com/r/cablegore/top>). Switches wäre eine Lösung, jedoch laufen dann mehrere Connections über ein Kabel, es kommt also zu Einbußen in der Data Rate. Außerdem besteht das Problem, wie man eine Connection über einen switch herstellt (vgl. Vermittlung beim Telefon). Das führt jedoch dazu, dass eine Connection nur einfach genutzt werden kann, ist ein Host also mit einem anderen verbunden, kann ein Host nicht mehr erreicht werden.

**Packet switching** Statt also ein Circuit für eine Verbindung zu blocken, teilt der switch die Daten in Pakete und sendet diese. So wird die Leitung nur für die Länge eines Pakets geblockt und es kann schneller gewechselt werden.

Probleme: Anfang und Ende bestimmen? Wie bestimmt man wo das Packet hin soll?

Beispiel Ablauf: »store-and-forward«switching:

1. receive a complete packet
2. store the packet in a Buffer
3. Find out the packet's destination
4. decide where the packet should be sent next (benötigt Kenntnis über Netzwerk Topologie)
5. forward the packet to his next hop of its journey

---

## Multiplexing

»Organizing the forwarding of packets over such a single, shared connection is called multiplexing.«

Auch beim Multiplexing ist TDM (Time Division Multiplexing) (nur ein Packet gleichzeitig) und FDM (Frequenz Division Multiplexing) (mehrere Packete auf gleichzeitig auf unterschiedlichen Frequenzen) möglich. Bei optischen Verbindungen WDM (wavelength division multiplexing) statt FDM. Es gibt jedoch noch weitere Formen, die hauptsächlich für Wireless transmission geeignet sind: CDM (Code Division Multiplexing) und SDM (Space Division Multiplexing).

Multiplexing lässt sich auch abstrahieren, wenn zum Beispiel mehrere connections eines höherer Layers eine lower-level connection nutzen sollen (s.c. upward multiplexing). Allgemein lässt sich in dem Kontext von shared Resources sprechen.

**Forwarding and next hop selection** Bekanntes Problem: Wie weiß eine Host/router/switch, wo er Packete hinschicken soll? Wie kennt er die besste/schnellste Verbindung? Es gibt einfache Ansätze:

- Flooding: alle Packete an alle Nachbarn senden
- Hot-potato routing: So schnell wie möglich an einen/mehrere zufällige Nachbarn senden

Sinnvoller wäre jedoch, wenn sich der router die besten wege merkt, e.g. durch Routing Tabellen. Diese können durch 2 Arten gesammelt werden: aktiv und passiv.

Passiv: Aktiv traffic beobachten und daraus Schlüsse ziehen.

Aktiv: Informationen aktiv senden und empfangen unter den verschiedenen Routern (routing protocols).

Jedoch bei Netzen der größe unsere Internets können Routing Tabellen schnell sehr groß werden. Hier kann man das Netz in mehrere Teilnetze splitten (divide et impera).

---

## 1.3 Organizing the mess - and connecting 'Alien' computers

Der Schlüssel ist »Simplification by abstraction«.

Z.B. das Modell des DS (distributed Systems) hilft beim verstehen von CN (computer networks). ein DS besteht aus AS (autonomous systems) und CSS (communication subsystems). Oft referiert wird auch auf die Abstraktion des OSI (Open Systems Interconnection) Schichten Modell.

---

### 1.3.1 OSI

#### Part 1: Concepts and Terms

»A protocol defines the format and the order of messages exchanged between two or more communicating entities, as well as the actions taken on transmission and/or reception of a message or other event«

Analog zum 'Computer' Protokoll kann man sich ein menschliches Protokoll vorstellen, z.B. der definierte Ablauf beim Telefonieren (Hallo, Hallo..... Tschüß, Tschau). Weiter ist das OSI Modell in schichten aufgeteilt. Analog wäre z.B. Layer 2 ein Manager, der einen Brief in Auftrag gibt (Layer 1), der dann von der Post (Layer 0) transportiert wird. Ein layer N hat bietet also services für den layer n+1 an. Zwei layer n kommunizieren nur mit den für diesen layer vorgesehenen Protokolle, diese können jedoch auf services von layer n-1 zugreifen (der unterste layer kann natürlich nur eigene services nutzen).

Services im OSI Modell lassen sich in 2 Gruppen aufteilen:

- **connection-orientated services:** Diese haben meist 3 Phasen:
  - CON (Connection Establishment)
  - DAT (Data Exchange)
  - DIS (Disconnect)
- **connectionless services:** Bei diesen fallen CON und DIS weg und es werden nur Daten Ausgetauscht.

Im Osi Modell werden Nachrichten höherer Layer als Daten Einheiten (Data Units) tiefer Layer transportiert. Hierfür gibt es einigen common Notations:

- packet: Ist die Einheit, die Transportiert wird (kann aus Fragmenten bestehen)
- datagram: wird bei connectionless services als ersatz für Packete verwendet
- frame: 'fertig und verpackt' um versendet zu werden.
- cell: kleinere packet mit einer definierten größe

- PDU (Protocol Data Unit): eine (N)-PDU ist definiert durch:  $(N)\text{-PCI} + (N)\text{-SDU}$
- PCI (Protocol Control Information): wird nur von peers genutzt.
- SDU (Service Data Unit): Ist die zu versendete payload eines höheren layers.  $(N)\text{SDU} = (N+1)\text{-PCI} + (N+1)\text{-SDU}$

## Part 2: 7 Layer Model

**Layer 1: physical Layer (PH)** Senden von Bits durch (de-)aktivieren von Signalen auf Leitungen.  
Beispiel: 1000 Base-T

**Layer 2: data link layer (D)** Sendet Pakete als Frames um Fehler zu erkennen und zu beheben, um Fehleranfällige Hosts zu schützen. Kann auch Flow Control verwenden, um langsame Hosts zu schützen.  
Beispiel: Ethernet

**Layer 3: network layer (N)** Ziel ist es den Packet-Stream zwischen zwei Hosts zu ermöglichen. Koordinierung der Pfade von Host zu Host. Konkret: Routing Wege finden und Pakete weiterleiten und Fehler beheben, z.B. durch 'flow controll'. Up- und downward multiplexing ist möglich. Außerdem kann congestion control auf diesem layer angewendet werden.  
Beispiel: IP

**Layer 4: transport layer (T)** Logische Verbindungen zwischen zwei Prozessen (nicht nur zwischen zwei Computern), Fehlerkorrektur und Paketzusammensetzung für den N-Layer.  
Beispiel: TCP

**Layer 5: session layer (S)** Koordiniert Session z.B. bei HTTP mit dem Session-Cookies und hilft Nutzer und Anwendung bei der Konstruktion und dem spannen von aufeinanderfolgenden Verbindungen.  
Beispiel: HTTPS

**Layer 6: presentation layer (P)** Setzt die Daten in eine unabhängige Form um, um unabhängig davon die Übermittlung - gg. mit Kompression und Verschlüsselung - zu ermöglichen.  
Beispiel: LDAP

**Layer 7: application layer (A)** Stellt Funktionen wie Daten Ein- und Ausgabe zur Verfügung.  
Beispiel: XMPP

---

### 1.3.2 5 Layer of the Internet

---

Im Internet verschmelzen Layer 5,6,7 oft und oft sind die Übergänge nicht klar definiert.

**Layer 1** Übermittlung von frames als stream von bits

**Layer 2** Daten von layer 3 in Frames verpacken und an direkte Nachbarn weiterleiten

**Layer 3** Daten vom client zum web-server weiterleiten, router2router communication, außerdem können e2e Verbindungen durch hop-to-hop realisiert werden

**Layer 4** Verlässliche Verbindung zum Web-server herstellen und sicherstellen, dass die Daten auch in der richtigen Reihenfolge ankommen, jedoch keine congestion control.

**Layer 5,6,7** HTTP Anfragen erstellen, Ebene 4 aufrufen (TCP).

---

### 1.3.3 network types

---

Wie schon erwähnt gibt es CO und CL networks. Beispiel für CO ist z.B. Das Telefon, CL die Post. CO haben durch die durch Handshakes vor allem bei kurzen Verbindungen eine hohe 'extra Last' durch die zusätzlichen Daten des Handshakes, lassen sich jedoch besser skalieren, da sie nicht einen Status gebunden sind (stateless). CO sind jedoch durch den Status der connection zuverlässiger. Bei einem 'verstopften' Network können mit CL immernoch Daten versendet werden, es kann nur sein, dass diese verspätet ankommen, CO haben jedoch Schwierigkeiten. Es ist möglich CO auf CL aufzubauen.

---

**connection-oriented Networks** Im CO network ist der erste Schritt mit einem handshake eine connection herzustellen. Nach dem handshake wissen beide Seiten von der connection und der Datenaustausch kann stattfinden. Die connection ist dabei nur ein loser status, auf dem Basis jedoch andere Eigenschaften (flow control, congestion control...) aufgebaut werden können.

Bei CO networks implementiert nicht direkt andere Eigenschaften der Verbindung. Dinge wie reliability, flow control und congestion control sind für CO networks sind nicht notwendig. Diese können z.B. mit TCP ermöglicht werden.

**connectionless networks** keine handshakes, direkt Faken (Daten Austausch). Wenn der Datenaustausch vorbei ist, kommt auch kein DIS mehr. CL networks brauchen wenig Aufwand, da keine connection gepflegt werden muss, es kann jedoch sein, dass der reciever nicht bereit zum Empfangen ist. CL implementieren keine reliability, flow control und congestion control.

---

## 2 Routing

---

### 2.1 introduction

---

Im Routing werden dafür gesort, dass Pakete vom Empfänger an das richtige Ziehl kommen. Bei Direkt Verbindungen besteht das Problem nicht, jedoch ist das bei großen Netzwerk keine Option, wenn jeder Host mit jedem anderem Verbunden werden muss. Wenn Switches genutzt werden, muss diesen jedoch gesagt werden, wie das Netzwerk aufgebaut ist (Netzwerk Topologie). In diesem Kapitel geht es um das Problem, wie ein Host den besten Weg zu einem Ziehl findet.

**Building a large network** Bei großen Netzwerken ist flooding und Hot-potato routing keine Option, da mit jedem Host die Anzahl an Paketen steigt und so mit den beiden Routing uneffizienten Methoden das Netzwerk schnell an sein Limit kommt. Ziel ist es eine Effiziente Methode zu finden, die Pakete möglichst schnell ans Ziel bringt, ohne dabei unnötig viel Traffci erzeugt.

Im folgenden werden zwei Begriffe genutzt:

- **Routing:** determine route taken by packets from source to destination. (Basis: Routing algorithms).
- **Forwarding:** move packets from router's input to appropriate router output.

---

#### 2.1.1 Forwarding

---

Wenn Pakete von einem Netzwerk in ein anderes Netzwerk geleitet werden sollen, wird ein router eingesetzt. (Heute haben uns bekannte Router mehrere Aufgaben, die früher von verschiedenen Geräten übernommen wurden: hub, bridge, switch, gateway.) Wenn also Pakete von einem Netzwerk in ein anderes gesendet werden sollen, übernimmt der Router die Koordination und leitet das Packet (forwarded) in das entsprechende Ziel Netzwerk. Hängt das andere Netzwerk direkt am selben Router, handelt sich sich um ein single hop. Wenn mindestens 2 Router zwischen den Netzwerken sind, handelt es sich um ein Multi-Hop.

---

#### 2.1.2 Routing

---

Routing findet für gewöhnlich auf Layer 3 statt, dort ist das Ziel Pakete von Host A zu Host B möglichst effizient zu transportieren bzw. erstmal einen Pfad zu finden, auf dem das möglich ist. Dies wird i.d.R. von Routing Algorithmen durchgeführt. Das Internet besteht aus mehreren AS, die alle wieder aus Teilnetzen bestehen. Jedes AS führt dabei selbst routing Algorithmen aus, um die besten Wege zu finden.

- **CONS (CO+NS)** Nn CO Networks Routing Algorithmen werden meist in der CON Phase durchgeführt. Im COTS (CO+TS) wissen nur die Endsysteme, dass sie verbunden sind, in CONS hingegen wissen alle Systeme auf der Route, dass die Systeme verbunden sind.
- **CLNS (CL+NS)** IN CL Networks wird nicht bei jedem Packet der Algorithmus durchgeführt, das würde einen zu großen Overload bedeuten. Manchmal wird beim ersten Packet einer Verbidnung der Algorithmus durchgeführt, das ist allerdings für sich schnell änderte Netzwerke keine Option. Im Inetnet z.B. dies in regelmäßigen Abständen, oder wenn sich große Teile ändern.

**optimizing Routing Algorithmen** Routing Algorithmen haben oft unterschiedliche Kriterien, nach denen sie arbeiten:

- Average packet delay
- Total throughput
- individual delay (kann jedoch mit anderen Kriterien im Widerspruch stehen)

Am meisten jedoch wird nach dem Kriterium, des minimal-hop-count gearbeitet, da dieser oft einen Kompromiss aus allen Kriterien bedeutet, es gibt jedoch keine Garantie dafür.

---

## 2.2 Routing Algorithms

---

Routing Algorithmen werden meist in zwei Arten aufgeteilt:

- **Non-adaptive Routing Algorithms**

Diese agieren unabhängig vom State des Netzwerks. Beispiele sind flooding oder preconfiguration.

- **Adaptive Routing Algorithms**

Nehmen den aktuellen Status des Netzwerks mit in Betracht, wenn sie Routing Entscheidung treffen. Beispiel Hierfür wären distance-vector-routing oder link state routing. Das Problem hierbei ist, dass bei sich ändernden Netzwerken die Routen häufig neu entschieden werden. Algorithmen diesen Types sind trotzdem sinnvoll in eignen, fest bekannten Netzen. Bekommt ein Link z.B. so viel Traffic, das Pakete verloren gehen, wird der Link als Broken markiert und es kommt zu noch größeren Ausfällen.

Es gibt dort auch 3 Unterarten:

- Centralized adaptive routing
- Isolated (aka. local) adaptive routing
- Distributed adaptive routing

---

### 2.2.1 Examples

---

**Flooding** (non-adaptive) Hier wird jedes einkommende Packet an alle bekannten Nachbarn weiterleitet. Das Problem dabei ist, dass so Netze schnell überlastet werden. Gibt es zum Beispiel Schleifen, kann es schnell zu einer Flut an nicht aufhörenden Paketen kommen. Eine Lösung für dieses Problem wäre z.B. das Implementieren von TTL (Time to live) oder Sequence Number. TTL werden meist in Hops angegeben und werden bei jedem Hop um 1 dekrementiert. Hat ein Packet ein TTL von 0, wird es weggeworfen. Eine Sequence Number wird beim ersten Router initialisiert. Jeder Router führt eine Tabelle mit Sequence Numbers, die er schon einmal geroutet hat. Kommt ein Packet mit einer Sequence Number, die er schon kennt, wird dieses Packet weggeworfen.

Flooding macht jedoch durchaus Sinn in sich schnell ändernden Netzen, z.B. bei WLAN oder Mobilfunk oder wenn alle Pakete Multicast sind und so wie so mehrere Ziele haben.

**Static Routes** (non-adaptive) Static Routes sind großartig für statische, vorhersehbare Umgebungen. Das Problem ist, dass sich das Internet regelmäßig ändert und statische Routen dann viel Wartungsaufwand bedeuten.

**Centralized Adaptive Routing** (adaptive) Es gibt einen Zentralen Control Center (RCC), der regelmäßig Informationen über die Topologie von allen Routern bekommt und dann einen Idealen Routing Graph erzeugt (z.B. Dijkstra). Das Problem hierbei ist, dass das Netz zusammenbricht, wenn nur der RCC ausfällt. Außerdem werden Routen 'in der Nähe' des RCC bevorzugt, was dort zu einer hohen Last führt während 'abgelegene' Router meist wenig Aufgaben haben. Ebenso bekommen Router die näher am RCC sind schneller die neuen Routing Informationen, was zu unterschiedlichen States führen kann.

**Isolated (aka. local) adaptive Routing** (non-adaptive) Es werden Entscheidungen über Routen nur lokal getroffen. Beispiele sind Hot potato Routing und Backward learning.

- **Hot Potato Routing**

Idee ist es, die Pakete so schnell wie möglich loszuwerden, wobei nicht beachtet werden muss, zu welchen Host die Pakete geschickt werden. Dieser Algorithmus ist nicht sehr effektiv, es gibt jedoch einige use-Cases in denen diese Art noch genutzt wird (peering/discovering).

- **Backward Learning Routing**

Bei diesem Algorithmus werden im Packet Header Source Adresse und Hop Counter hinzugefügt, Router lernen also im laufenden Betrieb über die Topologie und passen die Routen im Betrieb an. Jedoch müssen in jungen Netzwerken andere Algorithmen genutzt werden (z.B. hot potato / flooding). Wenn der Hop-Count == 1 ist, kommt das Packet von einem direkten Nachbarn. Bei einem Hop-Count  $n > 1$  ist die source  $n$  hops away.

**Distributed Adaptive Routing** Durch Graph Abstraction die besten Routen finden. Knoten sind dabei Router und Kanten die physikalischen Links a.k.a. hops. Die Kosten eines links sind dabei z.B. delay, \$, oder der congestion Layer. Die Kosten eines Pfades sind dann alle link Kosten vereint. Ein guter Pfad wird meist als der, mit den geringsten Kosten bezeichnet, es kann aber auch nach anderen Kriterien gesucht werden (e.g. min-hop-count).

Algorithmen hier lassen sich weiter klassifizieren:

- **Decentralized** Jeder Router kennt die Kosten zu seinen Nachbarn. Auch Distance Vector Routing gehört hierzu (z.B. BGP oder RIP)

- **Global** Alle Router kennen die komplette Topologie und alle Linkkosten. Hierzu gehören Link state Algorithmen z.B. Dijkstra oder OSPF.
- **Static** (nicht adaptiv) Routen ändern sich sehr selten
- **Dynamic** (adaptiv) Routen können sich oft ändern, Hier werden also regelmäßig Updates in den Routen gemacht.

## 2.3 Distance Vector Routing

Beim Distance Vector Routing tauschen direkte Nachbarn Informationen über Routen mit ihren Nachbarn aus. Jeder Host pflegt eine Tabelle, in der jede mögliche Zieladresse eine Reihe und jeder Nachbar eine Spalte hat. In der Tabelle werden dann die "Kosten" der Route eingetragen und mit jeder Iteration verbessert. Konkret schreibt man dann für Route von X zu Y via Z als nächsten Hop:

$$D^X(Y, Z) = c(X, Z) + \min_w \{D^Z(Y, w)\}$$

Mit einem Routing Algorithmus wird dann eine "Distance Table/Matrix" gebaut, mit der dann Routing Tabellen aufgestellt werden, aus denen dann der Distance Vector an die Nachbarn announced werden kann. DVR hat jedoch einige Probleme (count to infinity), jedoch handelt es sich um einen sehr simplen Algorithmus.

DVR Protokolle sind iterativ und Distributed:

- **Iterativ** Das heißt sie laufen nicht unendlich, sondern stoppen sobald keine weiteren Verbesserungen möglich sind. Außerdem sind sie "self-terminating" d.h. es gibt kein Stop Signal o.ä. Eine Iteration wird dabei ausgelöst indem entweder ein lokaler Link sich ändert z.B. in den Kosten oder wenn es eine Nachricht eines Nachbarn gibt, dass der Link dort sich geändert hat.
- **Distributed** Des Weiteren tauschen sie Informationen nur mit direkten Nachbarn aus und kennen auch nur den State dieser. Eine Node informiert einen Nachbarn dann über neue Routen, wenn sich die Kosten zu einer Destination verringert haben.

### 2.3.1 Count to Infinity Problem

Gegebene Situation: Wir haben 3 Host A, B, C. A ist mit B mit einem Cost von 1 verbunden, und B ist mit C mit einem Cost von 2 verbunden. Daraus ergeben sich folgende 3 Routing Tabellen: Durch einen Ausfall verschwindet jetzt die Verbindung zwischen B und

A			B			C		
TO	COST	VIA	TO	COST	VIA	TO	COST	VIA
B	1	B	A	1	B	A	3	B
C	3	B	C	2	C	B	2	B

C. A announced an B jedoch, dass es eine Route zu C mit dem Cost von 3 gibt. B versucht nun also C via A zu erreichen: Nachdem B

A			B			C		
TO	COST	VIA	TO	COST	VIA	TO	COST	VIA
B	1	B	A	1	B	A	-	-
C	3	B	C	4	A	B	-	-

dann diese Information an A sendet, aktualisiert A dann seine Route zu C, da diese über B geht und sich die Kosten erhöht haben. Die Route von A nach C via B ist dann wie gewohnt die Route von B nach C + die Kosten von A nach B. A announced das dann wieder an B, der ja nach C über A routet. Er addiert darauf also die Kosten von B nach A. Das läuft dann ungebremst so weiter, bis ins unendliche,

Möglichkeiten dieses Problem zu lösen:

**Poisend Reverse Methode** Wenn die Route von A nach C über B geht, sagt A dem Host B, dass seine Kosten nach C unendlich sind. In einem kleinen Netzwerk wird dann innerhalb weniger Iterationen ein stabiler State erreicht, in größeren Netzwerken besteht das Problem jedoch immernoch, z.B. in einem Netzwerk in dem A, B, C jeweils direkt verbunden sind, und C dann noch eine Verbindung zu D hat. Alle Kosten sind gleich. Fällt dann die Verbindung CD aus, bekommt A immernoch falsche Routen zu D von B und umgekehrt.

**Split Horizon** Wenn Host B seine Routen updatet und das an A sendet und A daraufhin einige Änderungen übernimmt, sendet A diese Änderungen nicht wieder an B, sondern nur an seine anderen Nachbarn.



---

## 2.4 Link-State Routing

---

Beim Link State Routing sammelt für gewöhnlich ein Zentraler Knoten (RCC) Informationen und gibt diese dann an alle anderen Router im Netzwerk weiter. Die Netzwerktopologie ist somit dann allen Router im Netzwerk bekannt. Der RCC baut aus allen gesammelten Informationen einen Graphen  $(V,E)$ , wobei  $V$  ein set an vertices (nodes) ist und  $E$  für die Edges (links) steht.  $c(v,w)$  sind dann die Kosten der Kanten. Wenn eine Kante nicht in  $E$  ist, ist  $c$  unendlich. Das Ziel ist es dann den günstigsten Pfad von node  $s$  (source) zu node  $v$  zu finden. Hierfür wird meistens Dijkstras verwendet. Jeder Router versendet regelmäßig per flooding "Link state packages" mit Informationen, die er zu seinen Nachbarn gesammelt hat (delay, hop count...) und versehen diese mit einer sequence Number und einem "age flag". Wenn ein Router so ein Packet bekommt, das er jedoch schon kennt (sequence Number) oder es abgelaufen ist, wirft er es weg.

**Vergleich LSR und DVR** Link State Routing und Distance Vector Routing im direkten Vergleich:

	LSR	DVR
Message complexity	mit $n$ Knoten und $E$ Kanten werden jedes mal $O(n \cdot E)$ nachrichten versendet	Austausch findet nur zwischen nur zwischen Nachbarn statt
Speed of Convergence	ein $O(n^2)$ Algorithmus braucht $O(n \cdot E)$ Nachrichten	Variiert stark. Es kann zu Routing Schleifen kommen. Count-to-infinity Problem
Robustness	Es können verfälschte Link Kosten announced werden. Jede Router nutzt nur die eigenen Tabellen.	Es können verfälschte Path Kosten announced werden. Die eigenen Routen werden von anderen Routern genutzt.

Algorithmen wie LSR und DVR sind für Netze konzipiert, die sich selten ändern und physikalisch verbunden sind. Sie haben vorallem Schwächen bei Mobilien Netzen, bei z.B. folgenden Punkten:

- **High dynamics** z.B. durch stendig wechselnde Nachbarn und Links
- **Power conservation** regelmäßiges senden von Routing Packeten verbraucht Strom und Leistung
- **Low bandwidth links** wenn z.B. Routing Informationen nicht versendet werden können
- **Asymmetry** Links können in der Geschwindigkeit variieren
- **Interference** Störsignale
- **High redundancy** ein Gerät ist mit vielen anderen Verbunden / "meshed"

---

## 2.5 Hierarchical Routing

---

In der Realität sind große Netze nicht so ideal wie bisher beschrieben, sondern sind meist nicht flach wie wir sie beschrieben haben und Router unterscheiden sich oft fundamental. Im Internet heute gibt es über 1 Milliarde links, die alle zu erreichen würde Routing Tabellen explodieren lassen und der Austausch dieser Tabellen würde jeden Link sprengen. Deswegen ist das Internet in Teilnetze aufgeteilt: Autonomous Systems.

**Autonomous Systems** Jedes AS hat eine eigene Nummer (z.B. AS421220) und kennt eine Route zu jedem anderen AS. Es gibt im heutigen Internet etwa 60000 solcher Teilnetze und alle sind unterschiedlich groß. Verschiedene AS sind mit physikalischen Links verbunden (peers), über die Daten ausgetauscht werden. Jeder Router innerhalb eines AS muss also nur die Routen zu anderen Routern im AS kennen, und die Route zu seinem Gateway. Innerhalb eines AS (intra-AS) hat der Administrator freie Wahl für die Nutzung von Routing Algorithmen, es kann z.B. RIP, OSPF oder IGRP verwendet werden. Für die Kommunikation zwischen AS (Inter-AS) gibt es jedoch einen festen Standart: BGP (Border Gateway Protocol).

Für die inter-AS Kommunikation wird ein Gateway Router benötigt, der den Transfer von Daten zu anderen AS koordiniert. Dieser Router pflegt Routing Tabellen mit anderen Gatewayroutern. Der Vorteil dieses Modells ist, dass es für das Reale Internet besser skaliert. Durch die Reduzierung von Peers, die in Routing Tabellen gepflegt werden müssen kommt es zu selteneren Updates der Tabellen, was es leichter macht, schnelle Routen zu finden. Bei Inter-AS Routing gibt es jedoch Regulierungen, welcher Host über wen peeren darf, innerhalb eines AS wird es sowas nicht geben, da ein AS nur eine begrenzte Anzahl Admins hat. Inter-AS Communication kann deswegen eher Performance orientiert sein.

---

### 2.5.1 About BGP and Internet Routing

---

Zum Vergleich die Routing Protokolle RIP & OSPF:

- RIP



- DVR
- Erstmal 1983 aufgetaucht. RFC 1058 von 1988
- Am minimalen Hop-Count orientiert
- Poison Reverse
- **OSPF**
  - LSR
  - RFC 1131 (inzwischen Version 2 & 3)
  - am meisten verwendete IGP
  - verwendet TCP zum Übertragen von Routing Informationen
  - Multicast support

**Border Gateway Protocol** BGP ist der heutige Standard für EGP. Durch regelmäßige "hello" Pakete erfahren andere Netzteilnehmer von der Existenz des AS. BGP Peers bauen dann eine Session auf und tauschen via TCP Routing Informationen aus. Wenn AS1 z.B. AS2 sagt, dass es einen gewissen Prefix routen kann, garantiert AS1 AS2 dann allen Traffic weiterzuleiten. BGP kann auch innerhalb eines AS verwendet werden, man spricht dann von iBGP. Um den Unterschied dann zu inter-AS Communication zu spezifizieren, wird in dem Kontext dann von eBGP gesprochen.

Eine advertierte Route in BGP besteht immer aus einem Prefix und einem Attribut set. Die zwei wichtigsten Attribute sind

- **AS-PATH:** Beinhaltet den Pfad, der für die Route genutzt wird (z.B. AS5 AS8 AS10)
- **NEXT-HOP:** Der nächste AS Router für den nächsten HOP

Über die Jahre wurden immer mehr AS registriert und die Zahl steigt weiter (>6000). Das führt dazu, dass es wieder mehr Hosts gibt, für die alle Routing Einträge gepflegt werden müssen, was die Länge der Tabellen explodieren lässt. Durch die hohe AS Zahl, kommt es auch regelmäßiger zu Änderungen im System, was Änderungen der Routing Tabellen bedeutet. Große Netze haben zudem eine höhere Fehleranfälligkeit.

**BGP Security** In BGP stellt jeder AS selbst ein, welches Subnetz er verwaltet. Kommt es bei dem Einstellen zu Fehlern ein AS announced ein Subnetz, welches er nicht wirklich organisiert, kommt es zu falschen Routen. So geschehen z.B. 24.02.2008 der Pakistan Telekom (AS17557). Eine generelle Einschätzung zu Routing Security siehe RFC4593. Mit BGP können aber auch Security Operations implementiert werden, z.B. durch Setzen einer IP TTL von 255 und es werden nur Routing Informationen mit einer TTL  $\geq 254$  verarbeitet. Außerdem können BGP Sessions mit MD5 Signaturen versehen werden.

---

## 2.6 Mobile Routing

---

Mobile Networking ist gut geeignet, um ein schnelles Netzwerk an Orten ohne gute Infrastruktur aufzubauen. Anders als im Internet sind beim Mobile Routing ganz andere Probleme zu bewältigen. Da zwischen Hosts keine physikalische Verbindung besteht, wird Routing zwischen Hosts schwierig. Doch durch sich wechselnde Positionen o.ä. verändern sich Links zwischen Hosts sehr schnell. Das und andere sind Faktoren, mit denen DVR und LSR nicht umgehen können, diese sind für statische Netze konzipiert. Routing Algorithmen können in zwei Kategorien aufgeteilt werden:

- **Proaktiv**
  - Routing Informationen werden unabhängig vom aktuellen Traffic regelmäßig und unabhängig generiert
  - Alle Internet Routing Algorithmen sind proaktiv, auch die oben kennengelernten Beispiele
  - 
  - Beispiel für einen reaktiven Mobile Routing Algorithmus: DSDV
- **Reaktiv**
  - Routen werden erst dann berechnet, wenn Daten übertragen werden sollen
  - Bei CO wird eine Route (wenn noch keine vorhanden ist) beim Connection Setup berechnet
  - Bei CL beim ersten Packet
  - Beispiel für einen reaktiven Mobile Routing Algorithmus: DSR

---

**Hierarchical Mobile Routing** In Mobilien Netzen können Ideen des Mobile Routings verwendet werden. Teilnetze können in Cluster aufgeteilt werden. Innerhalb eines Clusters kann proaktives Routing implementiert werden, für die Kommunikation zwischen Clustern können reaktive Algorithmen verwendet werden. Bei kleinen Clustern können alle Nodes sich gegenseitig kennen, es ist also ideal für reaktive Routing. Zwischen Clustern findet seltener Kommunikation statt, und es können mit vielen kleinen Clustern hier am besten reaktive Algorithmen verwendet werden.

---

### 2.6.1 DSDV

---

DSDV ist eine Erweiterung des DVR spezialisiert für Mobile Netze. Es gibt 2 große Extensions:

1. Sequence Numbers for all Routing updates
  - Verbesserungen gegen Schleifen und Inkonsistenzen
2. Decrease update frequency
  - Zeit zwischen ersten und bestem announcement eines Pfades wird gespeichert

Trotz dessen ist DSDV noch ein Proaktiver Algorithmus und ähnelt sehr stark dem DVR.

---

### 2.6.2 DSR

---

DSR (RFC 4728) geht einen Schritt weiter Richtung Reaktivem Routing. Er baut auf zwei simplen Ideen auf:

1. Routing wird in "Path discovery" und "path maintenance" aufgeteilt
2. regelmäßiges Updaten wird vermieden

Er ist für statische und dynamische Netze geeignet und kann mit bis zu 200 Knoten arbeiten. "Source Routing" bedeutet dabei, dass der Sender für die Bestimmung des Pfades verantwortlich ist.

**Path Discovery** Wenn ein Sender ein Packet versenden will, jedoch noch keine Route für das Ziel hat, startet er die Path Discovery. Es wird dabei ein Packet per flooding und broadcast mit der Ziel Adresse und einer einmaligen ID versendet. Wenn ein Host ein solches Packet erhält und er ist das Ziel, sendet er das Packet mit dem Pfad über das es gekommen ist zurück. Das erste Packet das diesen Host erreicht kam über dem schnellsten Pfad, jedes weitere Packet kann dann verworfen werden. Es sind noch weitere Optimierungen möglich: Wenn die Topologie (bzw. die maximale Länge) des Netzes bekannt ist, kann statt einer ID eine counter/TTL hinzugefügt werden. Der Host kann dann am Counter sehen, wie viele Hops das Packet hinter sich hat und es wegwerfen, wenn der Counter größer als der maximale Diameter ist. Eine zweite Verbesserung wäre, wenn Hosts discovery Packete speichern, die sie weiterleiten sollen. Die Informationen dieser Packete können dann für die Suche einer route genutzt werden, wenn das Gerät selbst Packete versenden will. Ist ein Path gefunden, muss jedoch sichergestellt werden, dass dieser auch über die Länge der Verbindung offen bleibt.

**Path Maintenance** Nicht genutzte Paths werden nach einer Zeit aus der Routing Tabelle gelöscht. Es ist möglichkeit, ist z.B. als Sender auf eine Bestätigung des Empfängers auf layer 2 zu warten oder so eine explizit zu erfragen. Auch kann eine Station schauen, ob Nachbarn das Packet weiterleiten, wenn diese Technologie unterstützt ist. Falls es ein Problem gibt, können Pfade neu gesucht werden oder es kann versucht werden, den Empfänger zu erreichen und ihm mitzuteilen, dass es ein Problem gab.

---

## 2.7 Overlay Routing

---

Im Overlay Routing sitzt ein Virtuelles Netzwerk auf einem existierenden. Hier können die gleichen Algorithmen verwendet werden. Wird ein Packet in einem Overlay network an den Nachbarn versendet, wird das Packet über das darunter liegende Netz transportiert und kann dort auch über mehrere Hops geleitet werden, während Sender um Empfänger im Overlay Network denken, sie sind direkte Nachbarn.

---

## 3 IP & Internetworking

---

Das Internet ist anders implementiert als das ideale Netzwerk. Statt das OSI Modell wird das Internet mit dem TCP/IP Modell in 4 Schichten aufgeteilt:

- **http, ftp,...** Application Layer (OSI 5-7)
- **TCP/UDP** Transport Layer (OSI 4)

- **IP** Internet Layer (OSI 3)
- **Physical** Network Interface (OSI 1-2)

Layer 1 bis 2 (Physical & IP) sind Hop by Hop orientiert, während 2 bis 4 (IP, TCP/UDP & http,ftp) e2e orientiert sind. Im weiteren Verlauf wird es konkret um Layer 2 IP (Network Layer, OSI 3) gehen. Beispiel für Protokolle dieses Layers sind IGMP, ICMP, ARP, IP, RARP.

Sendet ein Host A ein Datenpaket via IP an Host B, versieht A dieses Paket mit einer Destination Adresse. Dieses Paket wird dann von Routern weitergeleitet, bis es an Ziel kommt. Ein Beispiel um Routing mit IP zu erklären:

Host A (192.0.0.1) sendet ein Paket an 192.0.1.1. Host A hat jedoch keine direkte Verbindung sondern ist mit einem Router verbunden, der die Adresse 192.0.0.1 hat. In einer Routing Tabelle dieses Routers gibt es z.B. folgende Einträge: 192.0.0.0/24 über Link Interface 1 und 192.0.1.0/24 über Link Interface 2. Bekommt der Router also ein Paket mit der Destination Adresse 192.0.1.1, so ist diese in der zweiten Range drin, und er sendet das Paket über Link 2 weiter.

Die Information über die Destination IP steht im IP Header.

### 3.1 IP Header

Tabelle 1: IP Header, length: <- 32 bits ->

VER <sup>1</sup>	IHL <sup>2</sup>	type of service	length <sup>3</sup>	
16-bit identifier <sup>4</sup>			flgs <sup>4</sup>	fragment offset <sup>4</sup>
TTL <sup>5</sup>		protocol <sup>6</sup>	Internet Checksum <sup>7</sup>	
Source IP (32b format)				
Destination IP (32b format)				
Options (if any)				
Data (variable length, typically a TCP or UDP segment)				

Der Type of Service referiert auf priority Informationen, dieser Teil des Headers wird eher selten benutzt. Die Total Length ist die Summe inklusive Header und TCP/UDP Segment. Der identifier kann genutzt werden, wenn Pakete in mehrere Fragmente gespalten wurden, diese Pakete wieder zusammenzusetzen. Wird ein Paket "fragmentiert" bekommen alle bis auf das letzte Fragment den MF (more Fragments) Flag. Ist ein Paket nicht fragmentiert, bekommt es das DF (Don't Fragment) Flag. Im Fragment Offset wird die Position des Fragments typischerweise in 8er Oktets angegeben.

### 3.2 Addressing

In den bisher kennengelernten Routing Algorithmen speicher der Router Adressen in einer Tabelle, mit dem entsprechenden Pfad, den er dorthin routet. In großen Netzen kann dann so eine Tabelle sehr schnell sehr groß werden. Außerdem ist es nicht unüblich, dass eine Gerät mehrere (MAC) Adressen hat, da eine MAC-Adresse nicht Host spezifisch ist, sondern Interface spezifisch.

	Beispiel	Verteilung
MAC Adresse	70:12:a5:42:93:10	Flach und Permanent (Hersteller)
IP Adresse	172.20.42.10	Topologisch (meistens)
Hostname	tu-darmstadt.de	hierarchisch

#### 3.2.1 Naming and DNS

Bei einem Flat namespacing bestehen Namen nur aus einfachen Strings, die von einer Zentralen Stelle verwaltet werden. Hierbei kann es schnell zu Doppelungen kommen, da in einer langen Liste schnell der Überblick verloren werden kann.

Beim Hierarchical Name Space hingegen wird die Vergabe von Namen dezentralisiert. Es gibt die ersten Namen TLD (Top Level

<sup>1</sup> IP protocol Version Nummer (z.B. 4 oder 6)

<sup>2</sup> Header länge 32b Word

<sup>3</sup> Totale Länge in Bytes

<sup>4</sup> für fragmentation/Wiederherstellen

<sup>5</sup> Max Hop Anzahl. Wird bei jedem Hop um eins dekrementiert

<sup>6</sup> Protokoll des höheren Layers, dem das Paket zugestellt werden soll

<sup>7</sup> Checksum des Headers

---

Domain), z.B. de, die dann die Unteradresse tu-darmstadt an einen anderen Host delegiert. Das kann rekursiv weiterlaufen, tu-darmstadt kann dann z.B. Informatik (informatik.tu-darmstadt.de) an einen weiteren Host delegieren, ohne de darüber zu informieren. Wie beim Routing auch zeigt sich, dass flache Strukturen nicht funktionieren, in der Praxis wird deswegen beim namespacing auf das hierarchische Modell gesetzt.

---

### 3.2.2 IPv4 Addresses

---

IPv4 Adressen sind in Blocks aufgeteilt, die für verschiedene Zwecke gedacht sind.

- CLASS A: Organisation  $\leq 16$  Millionen Hosts. First Bit 0, first 8 for Net, last 24 Bit Host.
- CLASS B: Organisation  $\leq 65$  Tausend Hosts. First Bits 10, first 16 for Net, last 16 Bit Host.
- CLASS C: Organisation  $\leq 255$  Hosts. First Bits 110, first 24 for Net, last 8 Bit Host.
- CLASS D: Multicast Adressen. First Bits 1110, last 28 Bits for Multicast Adresses
- CLASS E: Reserviert (Privat, Dokumentation...) Firsts Bits 1111, last 28 reserved.

Eine Netzwerkadresse wird angegeben durch die festen Werte (First Bits & Net) und die Host bits, wobei die alle 0 sind. Die letzte Adresse (Host bits sind alle 1) ist für Broadcast reserviert. 127.0.0.0/8 sind für loopback Anwendungen reserviert, Pakete an diese Adresse werden am lokalen Host bearbeitet. Das /8 eben nennt man eine Netzmaske. Diese gibt an, wie groß das Teilnetz ist, also bei einem CLASS A z.B. /8, weil die ersten 8 Bits fest sind, CLASS B /16 und so weiter. Alternativ schreibt man auch: 11111111.00000000.00000000.00000000 (255.0.0.0, /8).

Einem Host Interface wird in der Regel ein /32, also eine genaue IP Adresse zugewiesen. Ein Host kann mehrere Interfaces, also auch mehrere Adressen haben. Einem Teilnetz wird dann ein Subnetz zugewiesen, in dem sich alle Hosts dieses Netzes befinden. Für lokale Netze werden in der Regel /24 verwendet. Ein Router, der mehrere Netze verwaltet, mehr sich dann nicht jede einzelnde Adresse, sondern nur die Teilnetze je Interface. Ein Beispielrouter verwaltet 3 Netze auf je einem Interface. Netz 1 läuft über Interface 1 mit 192.0.1.0/24, Netz 2 Interface 2 mit 192.0.2.0/24 und Netz 3 Interface 3 192.0.3.0/24.

**Subnetting** Ein Größerer IP Bereich kann auch in mehrere Subnetze geteilt werden, so kann von einem /16 z.B. ein /24 abgespalten werden. von den 16 Hosts bits werden die ersten 8 dann zu einer Subnet ID, die das Subnetz identifiziert. Die Netzmaske wird dann für Hosts innerhalb dieses Subnetzes ebenfalls angepasst. Aus einem Netz mit  $256 \times 256 - 2$  (Broadcast & Network Address) Adressen kann so ein Netz mit 254 Subnetzen je 254 Hosts gebaut werden. Ein Subnetz ist jedoch nicht darauf beschränkt ein /24 zu sein, es können Variable Längen für Subnetze verwendet werden zwischen /17 und /32. In diesem Kontext spricht man von Variable Length Subnet Mask (VLSM). Damit lassen sich Wartungsarbeiten für ISPs z.B. verringern. ein ISP announced z.B., dass er sich um ein /20 kümmert, und leitet dann teile davon an unterschiedliche Organisationen weiter (z.B. /23 Subnets). Das erlaubt es, IP Adressen mehr effizient zu nutzen. Wenn eine Organisation z.B. 2k Adressen braucht, rein ein CLASS C Netz nicht mehr aus. Es wird ein Class B Netz zugewiesen, auch wenn dann 63k Adressen ungenutzt bleiben. VLSM erlauben es, Adressen mehr effizient zu nutzen. So kann der Organisation z.B. aus einem CLASS B Netz eines ISPs ein /21 zugewiesen werden, dass dann  $2^{32-21} = 2048$  Adressen ermöglicht zugewiesen werden.

**Advertising** Doch wie kommt ein Host am Ende an seine IP Adresse? Koordinierung durch Menschen kann sehr umständlich werden und schnell aus dem Ruder laufen. Es kann ein DHCP eingesetzt werden, der ein zugeteiltes Subnetz an verbundene Geräte verteilt. Ein solcher DHCP Server wird meistens auf dem default Gateway betrieben, und weist IP Adressen anhand der MAC Adresse eines Interfaces zu.

---

### 3.2.3 NAT

---

In der Summe gibt es  $2^{32} = 4$  Milliarden IPv4 Adressen. Was zu den 70er noch unfassbar viel war, wird heute knapp. IPv4 Adressen gehen heute für über 20\$ das Stück über den Tisch, bei großen zusammenhängenden Netzen teils noch mehr. Eine Lösung wäre IPv6 ( $2^{128}$  Adressen), dafür sind einige Menschen aber zu faul. Eine<sup>1</sup> Lösung für das Problem ist NAT.

Bei einem NAT hat ein Gateway eine öffentliche Adresse einem Gateway zugewiesen. Hinter diesem Gateway können sich mehrere Hosts befinden, die mit Adressen aus einem local Network Bereich versehen werden. Pakete, die aus dem lokalen Netzwerk versendet werden, bekommen dann die Source Adresse des Gateways. Für Hosts außerhalb des Netzes sieht es dann so aus, als käme der Gesamte Traffic nur von einem Host (Gateway).

NAT hat jedoch den Vorteil, dass nicht direkt auf Geräte innerhalb eines lokalen Netzes zugegriffen werden kann, außerdem kann sich die öffentliche IP Adresse ändern (z.B. durch wechseln des ISP), ohne dass das lokale Netzwerk neu konfiguriert werden muss. Jedoch greift der Router durch die Manipulation in des IP Headers in den Traffic ein. Ein Router sollte jedoch maximal 3

---

<sup>1</sup> Nicht schöne!!!!

Layer bearbeiten. Außerdem funktionieren e2e oder p2p Anwendungen nicht mehr richtig, wenn ein Host innerhalb eines NATs ist. Außerdem ist jeder Host auf maximal 65k connections beschränkt (max anzahl Ports). Bei einem NAT sind alle Geräte jedoch auf insgesamt 65k Ports beschränkt, da das gateway nur soviel Ports hat.

**NAT Translation** Wenn ein Computer innerhalb eines lokalen Netzes hinter einem NAT Pakete aus dem Netz verschicken will, versieht er jedoch den IP Header mit seiner lokalen Source Adresse. Damit z.B. ein Antwort Packet am Router wieder ankommt muss dieser jedoch seine öffentliche IP als Source IP in den Header eintragen. Außerdem wird der Port geändert, damit die connection am Router mit dem Port des Hosts aufrecht erhalten werden kann. Ankommende Pakete werden dann wieder vom Router statt mit der NAT-Adresse mit der lokalen Adresse des Hosts versehen und innerhalb des Netzes geroutet.

### 3.2.4 ARP

Wie können Host innerhalb eines lokalen Netzes wissen, welche MAC Adresse hinter einer IP steht? ARP (Address Resolution Protocol) Anfragen! Bei einer ARP Anfrage sendet ein Host via Broadcast an alle Geräte im Netzwerk eine Anfrage: Wer hat IP X? Tell IP Y! Der Host mit IP X fühlt sich angesprochen und antwortet mit seiner MAC Adresse. Host X speichert dann die IP/MAC Kombination in einer Tabelle, bis diese Information abläuft. Es sind jedoch Probleme wie ARP cache poisoning denkbar.

### 3.3 IPv6

Da IPv4 Adressen inzwischen eng werden, wurde Ende der 90er IPv6 (RFC 2460) introduced. Neben dem Ziel, genug Adressen für alle Geräte zu haben und um z.B. NAT los zu werden, gibt es noch weitere Vorteile.

- 'traffic class' und 'flow labels' ermöglichen QoS
- Flexible Anzahl an Routing hierarchie Leveln
- Serverless Plug-and-Play
- Breite e2e und p2p, IP layer Authentication & encryption möglich
- Besserer Support für Mobile Devices

**IPv6 Header** Im Vergleich zum IPv4 Header fallen einige Felder weg.

Tabelle 2: IPv6 Header, length: <- 32 bits ->

VER	Traffic Class	Flow Label
Payload Length	Next Header	Hop Limit
Source IP (32b format, 16 Bytes)		
Destination IP (32b format, 16 Bytes)		

Der v6 Header hat insgesamt die doppelte Länge (40 bytes), im Vergleich zum v4 Header. Im Vergleich zum v4 Header ist die Größe hier fix, es können jedoch im Next Header viel TCP/UDP oder IPv6 extension Header genutzt werden. Traffic Class ist das Äquivalent zu Type of Service. Hop Limit ist Äquivalent zum alten TTL.

**IPv6 Addresses** v6 Adressen werden als 8x16 Bit Blöcke in hex Nummern geschrieben, wobei mit :: alles mit 00 gefüllt wird. Beispiel: fd42:4242:f31a:: = fd42:4242:f31a:0000:0000:0000:0000:0000. Es kann auch genutzt werden um Blöcke aufzufüllen, z.B. fd42:4242:f31a::abba = fd42:4242:f31a:0000:0000:0000:0000:abba. Die 128 Bits einer IPv6 Adresse sind wie folgt aufgeteilt:

3	13	8	24	16	64
001	TLA ID	Res	NLA ID	SLA ID	Interface ID

Wobei:

- TLA: Top Level Aggregation (IANA teilt diese ISPs zu)
- Res: Reserviert für vergrößerung des TLA oder NLA
- NLA: next-level (Kann zur Organisation von Routing Hierarchie verwendet werden)
- SLA: Site-level (Organisationen können den Bereich für Subnetting nutzen)
- Interface ID: Generierter Suffix für z.B. Endgeräte. Hier kann auch ein v6 Suffix aus der MAC Adresse generiert werden:
  - in 2x24 Bits aufteilen, FFFE Einfügen und 7tes Bit invertieren. z.B. 9042:fe34:3413 → 9242:feff:fe34:3413
  - Diese Methode ist jedoch sehr umstritten, da Geräte so weltweit getrackt werden könne. stattdessen lassen sich auch zufällig generierte Suffixe verwenden.

Bisher ist jedoch kein fester Stichtag für die Umstellung von IPv4 auf IPv6 vorgesehen, und der Übergang scheint sehr schleppend zu sein. IPv6 kann jedoch auch zwischen Netzen übertragen werden, die eigentlich nur IPv4 betreiben. IPv6 Pakete können dann als Payload in IPv4 Paketen versendet werden. IPv6 Routen sind i.d.R. auch in der Lage IPv4 Routen zu handeln.

**Further Improvements** Die Umstellung auf IPv6 betrifft jedoch auch Protokolle wie DHCP. Das Ziel hierbei ist es jedoch, Adressing und Routing zu vereinfachen. Neighbor Discovery durch ARP Anfragen fällt auch weg und wird durch ICMPv6 ersetzt. Auch hilfreich sind Methoden wie Link-local, wo mit fe80::/10 Direkt übertragen werden können, bevor sie global geroutet werden. Es gibt zwar eine v6 Alternative zu DHCP: DHCPv6 es wird jedoch empfohlen Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC) zu verwenden.

---

## 4 Transport Layer

---



---

## 5 Queueing Theory

---



---

## 6 Referenzen

---



---

### 6.1 Quicktour

---

- TDD (Time division duplex)
- TDM (Time Division Multiplexing)
- FDM (Frequenz Division Multiplexing)
- WDM (wavelength divisionmultiplexing)
- CDM (Code Divison Multiplexing)
- SDM (Code Divison Multiplexing)
- DS (Distributed Systems)
- AS (autonomous System)
- CSS (communication subsystem)
- CN (computer networks)
- OSI (Open Systems Interconnection)
- CON (Connection Establishment)
- DAT (Data Exchange)
- DIS (Disconnect)
- PDU (Protocol Data Unit)
- PCI (Protocol Control Information)
- SDU (Service Data Unit)

- 
- LAN (Local area network)
  - LLC (Logical Link Control)
  - MAC (Medium Access Control)
  - CO Network (connection-orientated network)
  - CL Network (connectionless network)
  - e2e (End-to-end)

---

## 6.2 Routing

---

- NS (network layer services)
- TS (transport service)
- TTL (Time to live)
- RCC (Routing Control Center)
- DVR (Distance Vector Routing)
- LSR (Link-State Routing)
- AS (autonomous System)
- RIP (Routing Information Protocol)
- OSPF (Open Shortest Path First)
- IGRP (Interior Gateway Routing Protocol)
- BGP (Border Gateway Protocol)
- IGP (Interior Gateway Protocol)
- EGP (Exterior Gateway Protocol)
- DSDV (Destination Sequenced Distance Vector)
- DSR (Dynamic Source Routing)

---

## 6.3 IP & Addressing

---

- VLSM (Variable Length Subnet Mask)
- DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)
- NAT (Network Address Translation)
- SLAAC (StatelessAddress Autoconfiguration)